Entuziasmul cu care Jim Al-Khalili lămurește totul pe înțelesul publicului larg răzbate din fiecare pagină.
—*NEW SCIENTIST*—

JIM AL-KHALILI

GĂURI NEGRE, GĂURI DE VIERME ȘI CĂLĂTORIA ÎN TIMP

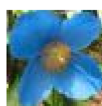


Jim Al-Khalili (n. 1962) este profesor de fizică teoretică la Universitatea din Surrey, Marea Britanie. Pe lângă cariera de cercetare în fizică nucleară, s-a dedicat popularizării științei prin articole, cărți, emisiuni radio și TV, devenind una dintre cele mai cunoscute persoane publice din Marea Britanie care prezintă publicului larg cercetările actuale din fizică și cosmologie. Pentru activitatea de popularizare a științei a fost distins cu Medalia Hawking pentru Comunicare Științifică, Premiul Faraday și Medalia Kelvin. Între cărțile sale amintim: *Nucleus: A Trip into the Heart of Matter*, *Quantum: A Guide for the Perplexed*, *Paradox: The Nine Greatest Enigmas in Science* și *The World According to Physics*. A editat, de asemenea, volumul *Etratereștrii: Ce spune știința despre viața în univers* (Humanitas, 2020).

JIM AL-KHALILI

GĂURI NEGRE, GĂURI DE VIERME ȘI CĂLĂTORIA ÎN TIMP

Traducere din engleză
de Vlad Zografi



Pentru Julie, David și Kate

Prefață

În ultimii ani am asistat la o explozie a numărului cărților și programelor de televiziune care popularizează ideile și teoriile științifice actuale, făcându-le accesibile unui public larg. Mai este așadar nevoie de încă o carte despre un subiect care s-a bucurat de mai multă atenție decât majoritatea celorlalte: natura spațiului și timpului și originea universului nostru? Ieri m-am uitat la site-ul unuia dintre cele mai mari cluburi de cărți de pe Internet. La categoria „știință și natură“, am căutat toate cărțile care conțin cuvântul „timp“ în titlu. Am găsit 29. Desigur, *Scurtă istorie a timpului* a lui Stephen Hawking e cea mai cunoscută, dar mai erau multe altele cu titluri precum *Despre timp*, *Nașterea timpului*, *Marginea timpului*, *Fluviul timpului* și așa mai departe. Se pare că întrebările privind natura timpului la nivel fundamental sunt acum principalul subiect de interes. Ce m-a surprins a fost că multe dintre acele 29 de titluri apăruseră *după* ce am început să scriu cartea de față.

Autori celebri precum Paul Davies, John Gribbin și Richard Dawkins au fost figuri emblematice pentru mine, pe când eram student, la mijlocul anilor 1980. Ei se adresau însă celor

deja inițiați. În cel mai bun caz, vizau „omul de rând inteligent“, indiferent ce-o fi însemnând asta. Ambiția mea a fost deci să scriu o carte la nivel elementar, care să explice câteva dintre ideile și teoriile din fizica modernă așa încât *oricine* să le înțeleagă, cu condiția, desigur, să fie suficient de interesat pentru a alege de la bun început să citească o asemenea carte. Am încercat de asemenea s-o fac ceva mai amuzantă, dorindu-mi (pesemne fără prea mult succes) un fel de „Stephen Hawking se întâlnește cu Terry Pratchett“.

Mulți oameni de știință ar spune că subiecte dificile precum teoriile lui Einstein pot fi doar vulgarizate, ajungând la un nivel la care explicațiile nu mai sunt corecte. Nu-mi place termenul „vulgarizare“, îți dă un aer de superioritate. Deși e flatant să fii considerat de societate mai inteligent decât oricine altcineva, savanții nu sunt decât oameni care au petrecut mulți ani antrenându-se să înțeleagă jargonul relevant, noțiuni abstracte și formule matematice. Partea grea e să traduci aceste cuvinte și idei așa încât să le poată înțelege și cineva lipsit de antrenamentul lor.

Am conceput această carte gândindu-mă la un public de adolescenți, dar ea se adresează oricui găsește titlul fascinant sau contrariant. Nu contează dacă n-ai mai citit nici o carte de știință de la vârsta de cincisprezece ani.

Așadar, cum s-a născut această carte? Ei bine, cu vreo trei ani în urmă, Bill Gelletly, șeful departamentului de fizică de la Universitatea din Surrey, mi-a propus să țin o prelegere despre „găurile de vierme“, în cadrul seriei de conferințe despre subiecte de interes din fizica modernă adresate studenților din anul întâi. Desigur, un asemenea subiect nu face parte din programa lor de studiu tradițională. De fapt, fanii serialului *TV Star Trek: Deep Space Nine* știu probabil mai multe despre găurile negre decât un fizician oarecare. În fine, mi s-a părut că ar fi amuzant, și m-am pregătit pentru prelegere prin lecturi legate de context. Am fost surprins să văd în public mulți studenți din alți ani, precum și cercetători postdoctorali și cadre didactice. Părea să fi fost ceva magic în titlu.

An de an, departamentul meu trimite școlilor și colegiilor din oraș o listă de vorbitori dintre cadrele didactice și de titluri de conferințe. Este în primul rând o formă de publicitate, în speranța că aceste conferințe ar atrage noi studenți către departamentul nostru. M-am oferit să vorbesc despre găurile de vierme. Succesul a fost atât de mare, încât Institutul de Fizică m-a invitat să fiu în 1998 „conferențiarul școlilor“. Asta a presupus să călătoresc prin toată țara și să vorbesc de fiecare dată în fața unui public de sute de elevi între 14 și 16 ani, investind un efort mare în pregătirea conferințelor. Am descoperit că adunasem mult

mai mult material fascinant decât ar fi încăput într-o prelegere de o oră, așa că m-am hotărât să-i dau forma unei cărți.

M-am străduit să-mi aduc pe cât posibil materialul la zi. De fapt, când am primit manuscrisul înapoi de la editură pentru ultimele corecturi și modificări, a trebuit să revizuiesc complet capitolul despre cosmologie. Descoperiri astronomice recente, din lunile trecute de când începusem să scriu acel capitol, au schimbat ideile noastre privind dimensiunea și forma universului.

Jim Al-Khalili
Portsmouth, Anglia, iulie 1999

Despre ediția a doua

Au trecut doisprezece ani de la publicarea pentru prima dată a acestei cărți, așa încât, atunci când editura Taylor & Francis m-a întrebat dacă vreau să fac modificări sau adăugiri, am profitat de ocazie. La urma urmei, deși nu s-a ivit un al doilea Einstein care să schimbe fața fizicii în primul deceniu al noului mileniu, au apărut destule idei și descoperiri noi care să îndreptățească augmentarea unor capitole din cartea de față. În cea mai mare parte, cartea rămâne exact așa cum a fost, dar mi-am luat libertatea de a actualiza unele dintre povestiri.

Jim Al-Khalili
Portsmouth, Anglia, mai 2011

Mulțumiri

Privind în urmă spre a doua jumătate a anului 1998, când a fost scris grosul cărții, îmi dau seama cât de recunoscător le sunt soției mele Julie și copiilor mei, David și Kate, că m-au suportat. Cum nu puteam permite ca scrisul să interfereze cu activitatea mea curentă de cercetare, nu-mi rămânea timp pentru scris decât serile și în weekenduri. Le sunt de asemenea recunoscător prietenilor, rudelor și colegilor mei care au avut bunăvoința să citească manuscrisul și să facă multe comentarii și sugestii constructive: Julie Al-Khalili, Reya Al-Khalili, Richard Wilson, Johnjoe MacFadden, Greg Knowles, Simon Doran, James Christley, Ray Mackintosh, John Miller și James Curry. Nu mă îndoiesc că au rămas unele erori, pentru care doar eu sunt răspunzător. Trebuie de asemenea să-i mulțumesc lui Bill Gelletly, cel care mi-a sugerat să încep întregul proiect, lui Kate Jones, pentru discuții constructive despre entropie, lui Youcef Nadjadi, pentru lămurirea unor aspecte ale liberului-arbitru, lui Matt Visser, care mi-a adus la cunoștință cele mai recente idei despre găurile de vierme, lui Brian Stedeford, pentru observații utile privind opera lui Lewis Carroll,

lui Phil Palmer, pentru lămurirea anumitor aspecte din cosmologie, lui James Malone, care mi-a oferit imaginea generată pe calculator a unei găuri de vierme pentru copertă, precum și lui Michael Taylor, editorul Institutului de Fizică, pentru întregul lui ajutor și sprijin.

Introducere

O EPOCĂ PASIONANTĂ

„De-acum e timpul“, zise Morsa,
„de lucruri multe ca să discutăm“…
— LEWIS CARROLL, *Alice în Țara din Oglindă*[1]

…de-atomi, de stele și de galaxii e vorba,
ce-nseamnă găurile negre, precum și dacă
spațiul lui Einstein se poate într-atât curba
încât mașina timpului posibilă s-o facă.

Această carte se adresează tuturor oamenilor – cam toți cei pe care-i cunosc – incitați de noțiuni exotice precum găurile negre, deformările spațiului, big bang, călătoria în timp și universurile paralele. Scriind cartea, m-am întrebat dacă cititorul neinițiat poate afla ceva mai mult despre ideile din fizica modernă fără să simtă în prealabil pornirea de a se asigura că inteligența lui este la înălțimea unei asemenea sarcini.

Subiectul cărții a fost tratat la diferite niveluri. La cel mai înalt nivel se află textele de specialitate și monografiile destinate celor care lucrează în domeniu. Sunt cărți de vrăjitorie, descifrabile doar de puținii privilegiați. Apoi vin manualele universitare. Și ele conțin vrăji, dar nu foarte puternice. Urmează limita superioară a literaturii de popularizare. Asemenea cărți sunt destinate nespecialiștilor, odată ce conțin puțină matematică, sau nu conțin deloc matematică. Ele nu-i atrag însă decât pe aceia care fie aparțin altor domenii ale științei, fie sunt deja amatori de asemenea cărți și au citit despre subiect.

Scriind această carte, am făcut așadar toate eforturile de a elimina pe cât posibil jargonul științific. Autorii de popularizare a științei se pricep tot mai bine să explice noțiuni complexe folosind cuvinte simple. Uneori însă ne va scăpa câte un cuvânt în „jargoneză“, care ne e atât de familiar încât uităm că nu are același înțeles pentru toată lumea.

ZECE MINUTE SCURTE SAU LUNGI?

Într-o vară, pe când aveam zece sau unsprezece ani, m-a fascinat ideea de timp. De unde provine? Am inventat-o noi, sau a existat dintotdeauna? Mai poate fi influențat trecutul? Întrebări profunde pentru un puști. Dar înainte să mă luați drept un copil-minune, dați-mi voie să vă spun care era ideea mea de călătorie în

timp. Știam că de cealaltă parte a lumii, undeva în mijlocul Pacificului, exista o linie invizibilă unind Polul Nord cu Polul Sud care împărțea lumea în Azi și Ieri! Dacă un vapor era ancorat chiar pe linia asta, la un capăt al lui putea să fie marți, ora 9:00 dimineața, iar la celălalt capăt luni, ora 10:00 dimineața. Evident, era un exemplu de călătorie în timp, doar plimbându-te pe punte câțiva metri!

Mă rog, știam că era aici ceva dubios, și într-o seară tata mi-a explicat că fusurile orare sunt invenții ale oamenilor. De pildă, dacă se decreta că, atunci când la NewYork e miezul nopții, la Londra e deja ora 5:00 a.m., nu era decât un mijloc de a face așa încât orele zilei să fie cam aceleași pentru toți, deși nu simultan, odată ce Pământul se rotește, iar diferitele țări sunt orientate diferit față de Soare. Am înțeles oarecum, însă mă simțeam dezamăgit. „Timpul“ însemna fără îndoială mai mult decât atât, era ceva mai misterios. Îmi închipuiam că timpul curge în ritmuri diferite, în funcție de starea mea sufletească. Ceasurile încetineau cu siguranță spre sfârșitul orelor de la școală, iar pe măsură ce se apropia ziua mea de naștere, săptămânile și zilele aproape că se opreau în loc.

A venit acum rândul copiilor mei să ajungă la aceste concluzii. Când le spun că în zece minute trebuie să-și strângă jucăriile, mă întreabă cu toată seriozitatea dacă sunt zece minute scurte, medii sau lungi. E limpede că pentru un copil

timpul se scurge foarte încet. Când ai cinci ani, un an durează foarte mult, odată ce înseamnă o cincime din viața ta, dar pe măsură ce îmbătrânim anii trec tot mai repede: nu-ți vine să crezi că a venit din nou Crăciunul sau că au trecut trei ani de când n-ai mai fost în cutare loc.

Undeva în adânc *știm* că timpul curge în ritm constant. Dacă îl întrebi pe un om de știință cât de repede se scurge timpul, îți răspunde de regulă că ritmul este de o secundă pe secundă. În cultura noastră credem că, indiferent de senzația subiectivă legată de trecerea timpului, există un ceas cosmic care indică secundele, minutele, orele, zilele și anii, pretutindeni în univers, neîncetat și inexorabil, iar în privința asta nu putem face nimic.

Sau putem? Chiar există un asemenea timp cosmic? Fizica modernă ne-a arătat că nu, iar dovezile sunt de nezdruncinat. De fapt, înainte să merg mai departe, trebuie să vă spun că știm cu certitudine absolută că *e posibilă călătoria în timp spre viitor*. Oamenii de știință au efectuat multe experimente care dovedesc fără dubii că e posibilă. Dacă aveți vreo îndoială privind această informație uimitoare, aflați că nu-i vorba de vreun secret păstrat cu strășnicie, ci doar de faptul că n-ați urmat un curs de relativitate specială. Totul va fi dezvăluit, sper, în cartea de față.

BUNUL-SIMȚ

Trebuie să recunosc că majoritatea oamenilor nu prea au habar de cele două teorii ale relativității ale lui Einstein (da, sunt două). Așa că nu mă miră răspunsul pe care-l primesc când le spun prietenilor mei nefamiliarizați cu știința că nimic nu poate călători mai repede decât lumina. „De unde știi?“ îmi zic ei. „Dacă oamenii de știință n-au găsit ceva care călătorește mai repede decât lumina, asta nu înseamnă că într-o bună zi n-o să fii obligat să-ți iei cuvintele înapoi. Ar trebui să fii mai deschis față de alte posibilități care nu ți-au trecut prin minte. Imaginează-ți că arăți un televizor unui trib izolat din jungla Amazonului care n-a mai văzut niciodată așa ceva“ etc. Nu mă deranjează deloc răspunsul ăsta, fiindcă e tocmai atitudinea pe care aș vrea s-o aibă cititorul cărții de față. Vreau să fie deschis și să poată accepta o nouă perspectivă, chiar dacă e în răspăr cu certitudinile lui sau cu ceea ce am numi simplu bunul-simț.

Albert Einstein e citat că ar fi spus odată că bunul-simț nu înseamnă decât prejudecățile pe care le-am dobândit la vârsta de optsprezece ani. Așa încât, pentru tribul amazonian care n-a văzut niciodată un televizor, ar fi împotriva bunului-simț existența unei cutii care le vorbește și le arată imagini din lumea întreagă.

(Mă rog, presupunând că au electricitate!) Cred că veți fi totuși de acord că, după ce le vom fi vorbit amazonienilor destul despre unde radio, dispozitive electronice moderne și toate celelalte lucruri care fac ca un televizor să funcționeze, vor accepta în cele din urmă să-și schimbe perspectiva asupra lumii, așa încât această nouă informație să nu le mai contrazică bunul-simț.

La începutul secolului XX au apărut câteva noi teorii științifice care, cel puțin până acum, s-au dovedit a fi corecte. Ele sunt răspunzătoare pentru aproape întreaga știință și tehnologie modernă. Faptul că avem ceasuri digitale, calculatoare, televizoare, cuptoare cu microunde, CD playere și cam toate celelalte aparate dovedește că aceste teorii, chiar dacă nu ne spun totul, descriu în mare măsură corect lumea din jurul nostru. Teoriile la care mă refer sunt relativitatea și mecanica cuantică. O teorie de succes prezice ce s-ar întâmpla în anumite condiții: dacă fac cutare lucru, atunci, conform teoriei mele, se întâmplă cutare lucru. Dacă efectuez un experiment și găsesc că predicțiile teoriei au fost corecte, e o dovadă în sprijinul teoriei. Dar o teorie nu-i același lucru cu o lege.

Legea gravitației spune că toate corpurile din univers se atrag reciproc cu o forță care depinde de masele lor și de distanțele dintre ele. Nu încape îndoială, și cu toate că știm că trebuie modificată atunci când avem de-a face cu

corpuri de masă foarte mare, cum sunt găurile negre, avem deplină încredere în ea atunci când descriem căderea obiectelor pe Pământ. O teorie e bună însă doar atâta vreme cât nu apare una mai bună care îi demonstrează falsitatea. Nu putem demonstra o teorie, putem doar demonstra că e falsă, iar o teorie de succes e una care rezistă probei timpului. În ciuda a ceea ce își închipuie ceilalți, majoritatea oamenilor de știință își doresc mai presus de orice să demonstreze că o teorie științifică e falsă, și este cu atât mai bine cu cât teoria e mai respectabilă. Așadar, din moment ce mecanica cuantică și relativitatea lui Einstein au rezistat vreme de un secol, în ciuda eforturilor fizicienilor de a demonstra că sunt false, sau măcar au fisuri ori puncte slabe, trebuie să recunoaștem că ele sunt probabil corecte, sau cel puțin ne duc pe drumul cel bun.

ÎNAPOI ÎN VIITOR

Îmi cer scuze, am divagat. Trebuie să mă întorc la problema posibilității călătoriei în timp, am să revin la teoria relativității. Vreau numai să vă stârnesc apetitul cu un *fapt* straniu, dar adevărat: dacă ai călători într-o rachetă la viteze apropiate de cea a luminii, plimbându-te prin galaxie vreme de, să spunem, patru ani, la întoarcerea pe Pământ ai fi șocat. Dacă, după calendarul tău de la bord, ai plecat în ianuarie 2000 și te-ai

întors în ianuarie 2004, atunci, în funcție de viteza ta și de drumul urmat printre stele, ai putea găsi că pe Pământ e anul 2040, iar toți oamenii au îmbătrânit cu 40 de ani. La rândul lor, ei ar fi șocați să vadă cât de tânăr arăți, ținând cont de timpul, măsurat de ei, în care ai fost plecat.

Ceasul tău din rachetă, călătorind la viteze foarte mari, cronometrase deci patru ani, în vreme ce toate ceasurile de pe Pământ cronometraseră 40 de ani. Cum e posibil? Un lucru e clar: este vorba de o călătorie în timp spre viitor. Ritmul în care timpul s-a scurs la bordul rachetei a fost încetinit ca urmare a vitezei mari. Asta înseamnă că ai sărit cu 36 de ani în viitor.

Am să revin asupra acestui aspect, dar trebuie să spun că încetinirea timpului atunci când călătorești cu viteze mari a fost confirmată de numeroase experimente extrem de precise. Oamenii de știință au sincronizat două ceasuri atomice, apoi pe unul l-au așezat într-un avion cu reacție, iar pe celălalt într-un laborator de pe Pământ. La întoarcerea avionului, indicațiile ceasurilor au fost comparate. Ceasul care a călătorit a rămas în urmă cu o infimă fracțiune de secundă față de cel rămas la sol. Avionul a zburat cu o mie de kilometri pe oră, dar viteza luminii e de aproape un milion de ori mai mare, de aici diferența minusculă dintre indicațiile celor două ceasuri. Diferența e însă reală, iar

ceasurile sunt atât de precise încât nu ne îndoim de indicațiile lor, și nici de concluziile pe care le tragem din ele.

Cititorii care știu câte ceva despre teoria relativității ar putea spune că exemplul de mai sus nu-i așa simplu cum l-am prezentat eu. E adevărat, dar subtilitățile a ceea ce numim paradoxul ceasurilor vor apărea abia când voi discuta despre relativitate în capitolul 7. Deocamdată e de-ajuns să rămânem la nivelul afirmației simple, dar perfect corecte, că deplasarea cu viteză mare permite călătoria în timp spre viitor.

Dar cum stau lucrurile cu călătoria în timp spre trecut? Se dovedește că e mult mai dificilă. Multora li s-ar putea părea surprinzător că e mai ușor să călătorești înainte în timp decât înapoi. V-ați gândi pesemne că e mai ridicolă ideea de a călători în viitor. O fi trecutul inaccesibil, dar cel puțin există, s-a întâmplat. Pe de altă parte, viitorul urmează să se întâmple. Cum să vizităm un timp care nu s-a consumat încă? Viitorul e oare predestinat? Asta l-ar pune pe picior de egalitate cu trecutul, fiindcă viitorul ar „exista“ și el.

Dacă presupunem că avem un oarecare control asupra destinului nostru, ar trebui să existe un număr infinit de versiuni ale viitorului. Atunci, ce anume determină versiunea în care am călători? Călătoria în timp spre viitor la viteză mare nu presupune însă că viitorul e deja

prezent și ne așteaptă. Înseamnă doar că ne deplasăm în afara cadrului temporal al celorlalți, într-un cadru unde timpul se scurge mai lent. Câtă vreme ne aflăm în această stare, timpul din afară se scurge mai repede, iar viitorul se desfășoară la viteză mare. Când vom reveni la cadrul temporal inițial, vom fi ajuns în viitor mai repede decât toți ceilalți. E ca și cum te-ai trezi din comă după câțiva ani și te-ai gândi că au trecut doar câteva ore. Deosebirea e că vei fi șocat când te vei privi prima dată în oglindă și vei vedea cât de mult ai îmbătrânit, în vreme ce, în cazul călătoriei cu viteză mare, ceasul tău biologic și tot ce mai e în rachetă se află într-un cadru temporal diferit. Ce e într-adevăr straniu este că nu observi nimic deosebit când te deplasezi cu viteza asta. Pentru tine, timpul se scurge în ritmul lui natural la bordul rachetei, iar dacă ai putea privi pe fereastră ai vedea că timpul *din afară* curge mai încet.

Există însă și un inconvenient. Odată ajuns în viitor, ești blocat acolo, nu te poți întoarce în prezentul pe care l-ai lăsat în urmă. Data la care ai plecat cu racheta este acum în trecutul tău, iar călătoria în timp spre trecut e problematică, ceea ce nu înseamnă însă că e imposibilă.

ÎNTÂLNIREA CU TINE ÎNSUȚI

Sunt atâtea exemple năucitoare care arată ce consecințe ridicole ar avea călătoria în trecut,

încât aș putea umple întreaga carte cu ele. De pildă, presupunând că e posibilă călătoria în trecut, te hotărăști să te vizitezi pe când erai mai tânăr, chiar înainte de a-ți investi economiile într-o afacere despre care știi că va da faliment. Dacă ai reuși să-l convingi pe sinele tău mai tânăr să n-o facă, pesemne că viața ta ar fi alta. Ajuns la vârsta la care te-ai întors în timp ca să te sfătuiești pe tine însuți să nu iei hotărârea, n-ai mai avea nevoie s-o faci, pentru că n-ai făcut niciodată investiția. Așa că nu te întorci în timp. Pe de altă parte, trebuie să-ți amintești că n-ai investit banii fiindcă așa te-a sfătuit sinele tău mai bătrân care te-a vizitat din viitor. Trăiești acum într-o lume în care ai luat hotărârea *să nu investești*. S-a datorat asta întâlnirii cu sinele tău mai tânăr care te-a sfătuit să n-o faci? Atunci cum e cu putință să devii acel om care a simțit nevoia să se întoarcă în timp pentru a te sfătui să nu faci ceva ce oricum n-ai făcut?

Dacă sunteți derutați, nu vă faceți griji, așa și trebuie. În asta constă paradoxul. Iată ceea ce pare, la prima vedere, o soluție. Dacă te întorci în timp pentru a te preveni pe tine însuți să nu faci ceva, două lucruri sunt adevărate. Mai întâi, faptul că te întorci în trecut pentru a împiedica ceva ce s-a întâmplat deja înseamnă că încercarea ta trebuie să fi eșuat, fiindcă într-adevăr s-a întâmplat acel ceva. În fond, există o singură versiune a istoriei. În al doilea rând, ar trebui să-ți amintești de un moment din trecut

când ai fost vizitat de sinele tău mai bătrân, și știi că tentativa a eșuat, deci n-are rost să încerci. Aici explicația se năruie. Dacă știi că n-are rost să te întorci ca să-l previi pe sinele tău mai tânăr, și deci te hotărăști să n-o faci, atunci cine a făcut-o? Trebuie să te întorci în timp fiindcă ții minte că te-ai întâlnit cu sinele tău mai bătrân care a încercat să te convingă să nu investești. Asta înseamnă că n-ai libertatea de a alege ce faci. Și atunci ce se întâmplă? Apare cumva un fel de Stăpân al Timpului și te obligă să intri în mașina timpului, prevenindu-te în privința consecințelor teribile asupra structurii spațiului-timp dacă nu te supui?

În ciuda acestor probleme, călătoria în timp spre trecut pare să fie permisă de teoria relativității generale descoperită de Einstein cu un secol în urmă. Iar cum relativitatea generală este cea mai bună teorie despre natura timpului de care dispunem, trebuie să-i luăm în serios predicțiile până găsim un motiv întemeiat – bazat, poate, pe o înțelegere mai profundă a teoriei – pentru care ele ar fi excluse. V-ați putea întreba de ce nimeni n-a reușit până acum să construiască o mașină a timpului. În cartea aceasta explic de ce, atingând câteva dintre cele mai fascinante subiecte ale fizicii.

Unele dintre lucrurile pe care le-am descoperit despre univers sunt atât de miraculoase, încât sper că vă veți simți dezamăgiți că n-ați aflat de ele până acum. Asta

aș vrea să vă ofer în cartea de față, să vă împărtășesc uimirea pe care mi-o trezește cosmosul. Și să vă pun la dispoziție muniție științifică grea cu care să vă impresionați prietenii când vine vorba de călătoria în timp.

---

1. Traducere de Antoaneta Ralian, Editura Art, București, 2012. (*N. t.*)

PARTEA I
Spațiul

1
A patra dimensiune

FORMELE

Geometria este ramura matematicii care se ocupă cu proprietățile punctelor, dreptelor, suprafețelor și corpurilor, și cu relațiile dintre ele. Majoritatea oamenilor probabil că nu privesc în urmă cu afecțiune nostalgică spre geometria învățată în școală: aria cercului, lungimea laturilor unui triunghi dreptunghic, volumul cubului și cilindrului, precum și instrumentele de nădejde compasul și raportorul. Sper totuși că nu veți sări peste un capitol dedicat geometriei.

În spiritul cruciadei din această carte împotriva limbajului științific și jargonezei, voi redefini semnificația geometriei spunând că *se ocupă de forme*. Să lămurim ce înțelegem prin forme în sensul cel mai general. Priviți litera „S“. Forma ei se datorează unei singure linii curbe. Și vopseaua împrăștiată pe o pânză are o formă, dar nu mai e o linie, ci o arie. Obiectele solide au și ele forme. Cuburi, sfere, oameni, mașini – toate au forme geometrice numite volume.

Proprietatea care diferă în cele trei cazuri de mai sus – linia, suprafața și volumul – este numărul de dimensiuni necesar pentru a le defini. Spunem că o linie e unidimensională (1-D), o arie e bidimensională (2-D), iar un volum e tridimensional (3-D).

Există vreun motiv pentru care să nu pot merge mai departe, la mai multe dimensiuni? Ce m-a făcut să mă opresc la numărul trei? Răspunsul, desigur, este că trăim într-un univers care are trei dimensiuni ale spațiului; avem libertatea de a ne mișca înainte/înapoi, stânga/dreapta și sus/jos, dar ne e imposibil să indicăm spre o nouă direcție care să fie perpendiculară pe celelalte trei. În matematică, aceste trei direcții în care suntem liberi să ne mișcăm se numesc reciproc perpendiculare, adică formează unghiuri drepte unele în raport cu altele.

Toate obiectele solide din jurul nostru sunt 3-D. Cartea pe care o citiți are o anumită lungime, lățime și grosime (toate aceste trei cantități fiind măsurate pe direcții perpendiculare între ele). Împreună, aceste trei numere definesc dimensiunile cărții. Dacă le înmulțești, obții volumul ei, ceea ce nu e evident pentru toate obiectele solide. O sferă, de pildă, n-are nevoie decât de un număr care să-i definească mărimea: raza ei. Dar și ea e tridimensională pentru că e un obiect solid înglobat în spațiul 3-D.

Vedem în jurul nostru forme care sunt 1-, 2- sau 3-dimensionale, dar niciodată 4-dimensionale, fiindcă asemenea obiecte nu pot fi înglobate în spațiul nostru 3-dimensional. De fapt, nici nu ne putem imagina cum ar arăta o formă 4-dimensională. A-ți imagina un lucru înseamnă a construi un model mental al lui în creierul tău, care nu se poate descurca decât cu maximum trei dimensiuni. Nu putem concepe o formă 4-D.

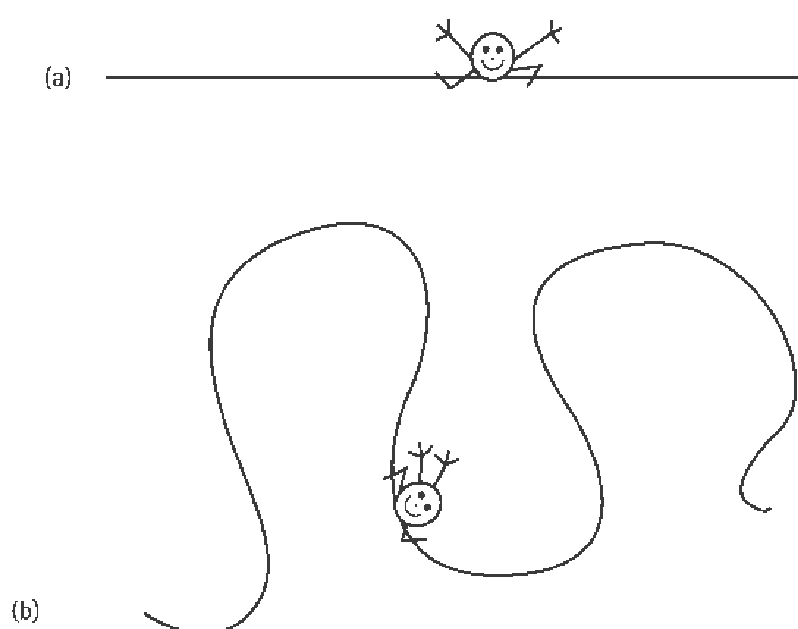


Figura 1.1. Fred, punctul care trăiește în universul lui unidimensional care este (a) plat sau (b) curb.

Pentru mulți, „unidimensional“ înseamnă „într-o singură direcție“. A adăuga o dimensiune la ceva înseamnă a-i permite să se miște într-o nouă direcție. E drept, ați putea spune, dar cum rămâne cu litera „S“? Când scrii un „S“, creionul tău trasează curbe în direcții diferite. Cum e posibil ca forma finală să fie 1-D? Imaginați-vă un punct pe nume Fred care trăiește pe o linie dreaptă (figura 1.1). Fred nu se poate mișca în afara liniei, e obligat să se

miște de-a lungul ei. Spunem că mișcarea lui e unidimensională. Din moment ce linia e întregul lui univers, spunem că Fred trăiește într-un univers 1-D. Dar dacă universul lui ar fi litera „S“? În câte dimensiuni ar trăi acum? Răspunsul e: tot una. Este în continuare obligat să se miște de-a lungul liniei. Desigur, viața lui ar putea fi mai interesantă acum, când are câteva curbe de abordat, dar curbarea unei forme nu-i sporește numărul de dimensiuni. (Apropo, cum Fred nu-i decât un punct, conform definiției sale matematice este o ființă zero-dimensională.)

Un alt mod de a vorbi despre dimensiunile unui spațiu este de a vedea de câte numere, numite coordonate, avem nevoie pentru a localiza o anumită poziție în acel spațiu. Următorul exemplu, despre care am citit de mult, dar nu mai țin minte unde, este cel mai clar din câte cunosc. Imaginează-ți că te afli pe o barcă navigând pe un canal. Dat fiind un punct de referință, să zicem satul pe lângă care ai trecut, pentru a-ți defini poziția n-ai nevoie decât de un număr, distanța străbătută de la sat. Dacă te hotărăști să te oprești ca să iei masa de prânz, poți suna o prietenă ca să-i spui că te afli, de pildă, la șase kilometri în amonte față de sat. Nu contează cât de întortocheat e canalul; acei șase kilometri sunt distanța pe care ai parcurs-o,

și nu în linie dreaptă. Barca este așadar obligată să se miște într-o dimensiune, însă nu neapărat în linie dreaptă.

Dar dacă te afli pe un vapor pe ocean? Acum ai nevoie de două numere (coordonate) pentru a-ți localiza poziția. Ele vor fi latitudinea și longitudinea în raport cu un anumit punct de referință, să zicem coordonatele unui port sau cele fixate internațional. Vaporul se mișcă deci în două dimensiuni.

Pe de altă parte, pentru un submarin ai nevoie de trei puncte. În plus față de latitudine și longitudine, trebuie să precizezi distanța în a treia dimensiune, adâncimea. Spunem așadar că submarinul e liber să se miște într-un spațiu tridimensional.

CE ESTE SPAȚIUL?

La ședințele departamentului de fizică de la Universitatea din Surrey, unde lucrez, există mereu un subiect pe agendă numit „Spațiu". Este prilejul ca diferite grupuri de cercetare să-și dispute spațiul din birouri pentru studenții și cercetătorii veniți în vizită, și spațiul din laboratoare pentru experimentele lor. Când șeful departamentului ajunge la acest subiect de pe agendă și spune ceva în genul „Și acum vine Spațiul", se găsește de obicei câte cineva să mormăie „ultima frontieră". Și vă închipuiați că fizicienii n-au simțul umorului!

Credem cu toții că știm ce înseamnă „spațiu“, fie că e spațiu în sensul „există spațiu liber în colțul acela“ sau „n-ai spațiu nici să te răsucești“, fie spațiu în sensul de „spațiu extraterestru“, ca în „ultima frontieră“. Când ne gândim la el, privim spațiul doar ca pe un loc unde să punem lucruri. Spațiul în sine nu-i o substanță – cel puțin în privința asta suntem cu toții de acord. Atunci însă, poate exista spațiu dacă nu conține deloc materie? Gândiți-vă la o cutie goală. Chiar dacă pompăm în afară toate moleculele de aer pe care le conține, așa încât să nu fie chiar *nimic* în interiorul cutiei, acceptăm ideea că spațiul continuă să existe. Spațiul se referă doar la volumul cutiei.

Este mai puțin intuitiv cazul în care spațiul n-are frontiere. Ne gândim că spațiul dinăuntrul cutiei există numai grație existenței cutiei înseși. Dar dacă îndepărtăm capacul și pereții cutiei? Mai există spațiul? Evident. Dar acum e o regiune de spațiu dintr-o regiune mai mare în interiorul camerei unde ne aflăm. Să trecem la altă scară: universul nostru e în esență un volum foarte mare (poate infinit) de spațiu conținând materie (galaxii, stele, nebuloase, planete etc.). Dar dacă universul ar fi complet gol, n-ar conține deloc materie? Ar mai exista acolo spațiu? Da, fiindcă spațiul n-are nevoie să conțină materie pentru a exista. În acest punct, discuția ar putea ajunge la un subiect tehnic și obscur (însă mult dezbătut) numit principiul lui

Mach. Acesta susține că spațiul (sau cel puțin distanțele și direcțiile din el) n-are sens când nu conține materie. În plus, Einstein a arătat că spațiul, la fel ca timpul, e relativ. Nu vreau totuși să discut lucruri prea dificile chiar de la începutul cărții, așa încât voi presupune că, deși spațiul nu-i o substanță, trebuie totuși să *fie* ceva.

Dar dacă spațiul nu-i o substanță, putem interacționa cu el? Poate materia să-l influențeze cumva? Se dovedește că materia poate într-adevăr influența spațiul însuși: îl poate curba. Odată ce-ai înțeles asta, n-ar trebui să te mai lași impresionat de povești despre tacâmuri îndoite prin puterea minții (un truc ieftin și inutil).

În capitolul următor am să vă rog să vă imaginați curbarea spațiului 3-D.[1]2E simplu, v-ați putea zice, pot îndoi ușor un obiect 3-D, cum e cartea asta. Ei bine, nu-i chiar așa simplu. Nu mă refer la obiecte 3-D din spațiul 3-D, ci la curbarea spațiului 3-D *însuși*.

Gândiți-vă la curbarea liniei 1-D pentru a forma litera „S“. Avem nevoie de o foaie de hârtie 2-D pe care să scriem litera „S“. Spunem că forma 1-D are nevoie să fie înglobată într-o dimensiune superioară. La fel, îndoirea unei foi de hârtie are nevoie de folosirea spațiului nostru 3-D dacă vrem s-o vizualizăm. Rezultă că,

pentru a înțelege ce înseamnă curbarea spațiului 3-D, ar trebui să ne imaginăm spațiul 4-D în care acesta poate fi curbat.

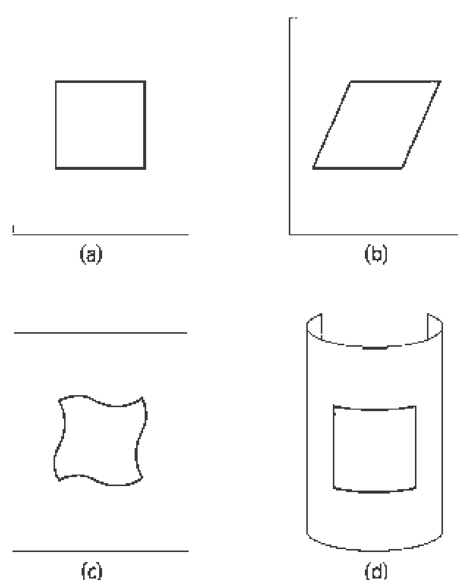


Figura 1.2 (a) Un pătrat (formă 2-D) este desenat într-un spațiu 2-D plat; (b, c) pătratul poate fi curbat sau deformat în interiorul spațiului 2-D plat sau (d) spațiul însuși poate fi curbat.

Dacă tot nu v-ați lămurit în privința deosebirii dintre a curba un obiect solid în spațiu și a curba spațiul însuși, iată un exemplu simplu în 2-D. Să considerăm un pătrat desenat pe o foaie de hârtie (figura 1.2a). Pătratul poate fi deformat *în interiorul* suprafeței 2-D (hârtia). De pildă, putem trage de două colțuri opuse, așa încât să formăm un romb, ca în figura 1.2b, sau liniile pot fi redesenate curbat, ca în figura 1.2c. E altceva decât să curbezi foaia de hârtie însăși (figura 1.2d). Acum pătratul ne apare curbat deși nu l-am redesenat, ci spațiul în care există pătratul a fost curbat.

LUMEA 2-D ȘI 2-DEII

Cum nu ne putem închipui o dimensiune superioară în care să curbăm lumea noastră 3-D, am să apelez la un truc util. Ne dispensăm pur și simplu de o dimensiune spațială, să zicem dimensiunea adâncime, iar apoi putem trata o lume 2-D imaginară (s-o numim, fără prea multă originalitate, Lumea 2-D). Asemenea lumi bidimensionale plate au fost discutate de mulți autori de-a lungul anilor, purtând tot felul de denumiri de la Flatland la Planiverse.[3] Locuitorii unui asemenea univers sunt ființe plate, reduse la conturul lor, constrânse să se miște nu „pe“, ci „într-o“ suprafață. Se pot deplasa sus/jos și stânga/dreapta, dar nu pot ieși din suprafață, fiindcă asta ar presupune mișcarea în a treia dimensiune, ceea ce le este imposibil. A patra dimensiune – imposibil de închipuit pentru noi, ființe 3-D, dar de care avem nevoie ca să vizualizăm curbarea spațiului nostru 3-D – e echivalentă cu o a treia dimensiune pentru 2-Dei, așa cum îi voi numi pe locuitorii Lumii 2-D. Noi avem acces la această a treia dimensiune, dar nu și 2-Deii.

Cum ar arăta un asemenea univers 2-D? Să spunem de la început că locuitorilor lui le-ar fi la fel de greu să se gândească la o a treia dimensiune pe cât ne e nouă de greu să ne gândim la o a patra. În figura 1.3 se văd două asemenea ființe. E interesant să ne închipuim cum își îndeplinesc ei funcții elementare. De pildă, ochii lor ar trebui să aibă libertatea de a se

plimba într-o parte și într-alta, așa încât să poată vedea în ambele direcții. Altminteri, dacă ochii ar fi fixați de fiecare parte a capului lor, deși ar avea avantajul de a privi în ambele direcții simultan, le-ar lipsi o capacitate vitală. La fel ca în cazul nostru, privind același obiect cu ambii ochi își pot da seama cât de departe e obiectul. Dacă însă ar avea ambii ochi de aceeași parte a capului, n-ar vedea în spatele lor decât dacă ar sta răsturnați. Asta fiindcă, neavând acces la a treia dimensiune, nu-și pot răsuci capul. Ambele dificultăți sunt înlăturate dacă ochii lor sunt liberi să se plimbe, așa cum am reprezentat eu. Mai există, desigur, și posibilitatea să aibă câte o pereche de ochi de fiecare parte a capului.

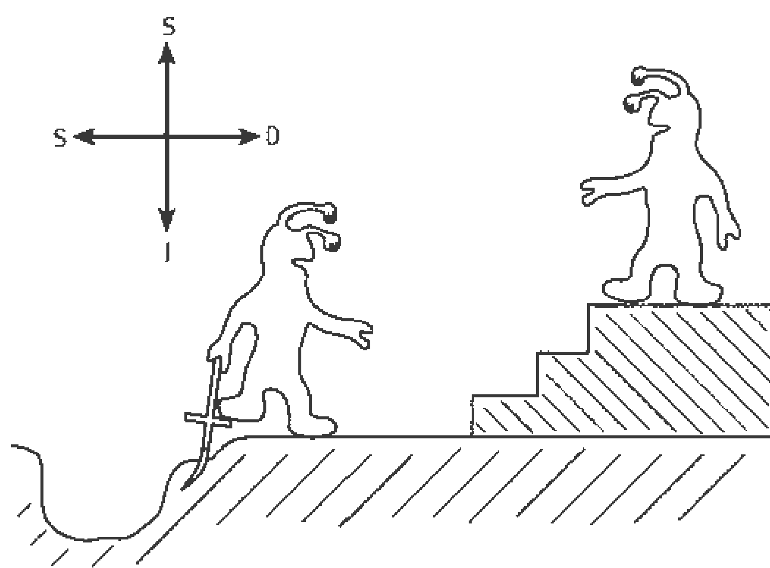


Figura 1.3 Ființele bidimensionale trăind în Lumea 2-D sunt libere să se miște sus/jos și stânga/dreapta, dar n-au acces la a treia dimensiune, care ar implica ieșirea din pagină.

Altă dificultate cu care s-ar confrunta poate fi de asemenea văzută în figura 1.3. Cum poate 2-Deul care coboară scările să treacă de cel care sapă groapa? Nu-l poate ocoli, fiindcă asta

presupune să se mişte în afara planului (în afara universului lor), ceea ce e interzis. Ei ar avea pesemne un fel de convenție: cel din stânga trebuie să cedeze trecerea celui care vine din dreapta, ca în figura 1.4. Sau ar putea exista o altă convenție: 2-Deul trebuie să cedeze mereu trecerea celui aflat pe o treaptă mai înaltă în ierarhia socială.

Un aspect foarte interesant al Lumii 2-D este ce pot vedea 2-Deii când se uită la obiectele din lumea lor. Să vă amintesc mai întâi ce vedem noi când privim un obiect solid cum e o minge. Ceea ce vedem de fapt e o imagine 2-D pe retina fiecărui ochi, lucru esențial pentru perceperea profunzimii. Chiar și cu un ochi închis știm că privim un obiect tridimensional, nu unul bidimensional, ca un disc, după umbra lăsată de lumina care cade pe minge. Ba chiar și fără asta știm din experiență cum arată și cum se comportă o minge. Când vedem un meci de fotbal la televizor, știm că obiectul rotund lovit cu piciorul este o minge tridimensională, nu un disc plat care arată ca o minge și se rostogolește pe marginea lui. O știm deși nu putem discerne vreo umbră pe minge, iar imaginea din televizor e o proiecție 2-D a unei realități 3-D.

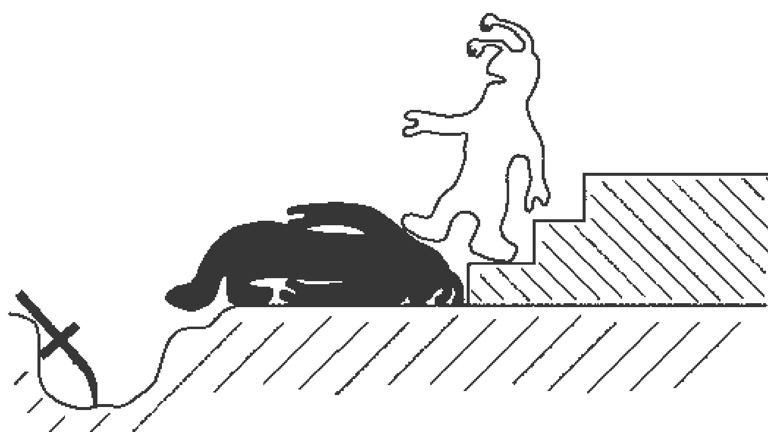
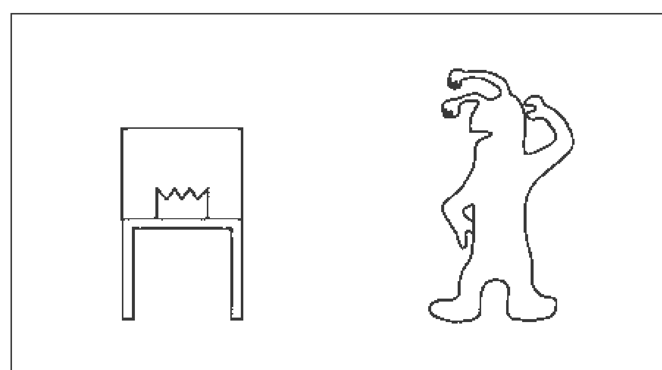


Figura 1.4 Singurul mod prin care 2-Deii pot trece unul de altul. Nu se pot ocoli, fiindcă asta ar presupune să iasă din pagină.

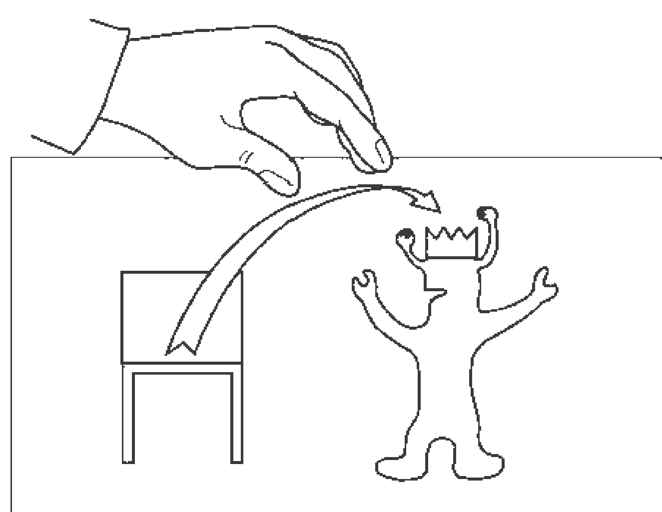
Când privim un obiect 3-D vedem întotdeauna doar suprafața lui bidimensională îndreptată spre noi. Creierul nostru ține apoi cont de experiența din trecut legată de un asemenea obiect și de felul în care lumina interacționează cu acea suprafață, pentru a construi în mintea noastră un model al întregii forme tridimensionale, deși nu putem vedea spatele ei. Cum se compară asta cu ceea ce văd 2-Deii? Pentru ei, echivalentul unei sfere e un cerc. Când 2-Deul privește un cerc, el va privi de fapt marginea lui, și va vedea doar jumătatea din față a circumferinței lui. Pe „retina" lui se va forma o imagine unidimensională: o linie dreaptă. Va trebui și el să se bazeze pe umbră pentru a discerne curbarea liniei, și va trebui să rotească cercul pentru a se convinge că linia se curbează de jur-împrejur. Dacă cercul e luminat de sus de un soare bidimensional, secțiunea de sus a liniei îi va apărea mai luminoasă decât cea de jos, care formează partea inferioară a

cercului. Așadar, un cerc pentru 2-Dei nu-i același cerc ca pentru noi, fiindcă ei nu pot vedea înăuntrul lui. Din punctul nostru de vedere privilegiat, privind spre Lumea 2-D putem vedea interiorul tuturor obiectelor, nu doar al cercurilor, ci și al corpurilor 2-Deilor. Toate organele lor interne ne sunt vizibile, dând un nou înțeles expresiei „chirurgie pe cord deschis". 2-Deilor le e imposibil să vadă interiorul unui cerc închis din lumea lor, la fel cum nouă ne e imposibil să vedem interiorul unei sfere opace în lumea noastră.

Imaginați-vă că dăm peste Lumea 2-D undeva în universul nostru. În principiu, dacă ar fi plată, s-ar întinde la nesfârșit, ca o foaie infinită care despică spațiul nostru tridimensional. Imaginați-vă că dați peste ea undeva, n-are a face unde: sub pat, în spatele canapelei, în podul bunicii. Voi presupune că putem să comunicăm cu locuitorii lumii 2-D.[4] Asistăm la scena din figura 1.5a: un 2-Deu încearcă să ia un obiect din interiorul unui pătrat. Nici măcar nu poate vedea obiectul, și nu-l poate lua fără să deschidă pătratul. Noi nu numai că vedem obiectul, dar, dacă vrem, putem ajunge la Lumea 2-D, îl putem culege din cele două dimensiuni ale lui, iar apoi îl putem plasa la loc în Lumea 2-D în afara pătratului (figura 1.5b). O putem face pentru că avem acces la a treia dimensiune.



(a)



(b)

Figura 1.5 (a) Un 2-Deu nu poate lua coroana închisă în caseta de sticlă fără să spargă sticla și să declanșeze alarma. (b) Îl putem ajuta pe hoț culegând coroana din Lumea 2-D în a treia dimensiune, iar apoi punându-i-o pe cap.

După ce l-am făcut pe 2-Deu să creadă în paranormal – provocând apariția de nicăieri a unui obiect care cu doar câteva clipe înainte era închis într-un pătrat impenetrabil –, ne hotărâm să-i arătam minunile spațiului 3-D prezentându-i o sferă: împingem o bilă în Lumea 2-D. Desigur, ea va trece imediat de partea cealaltă, presupunând că nu întâlnește în cale nici un obiect 2-D. 2-Deul va vedea întâi un punct care devine linie, linia se lungește, apoi se scurtează și dispare. Din umbrire, el trage concluzia că linia e parte a circumferinței unui cerc, așa că își dă seama că se uită la un cerc care la început e

mic, crește, ajunge la dimensiunea maximă (când jumătate din bilă a străbătut Lumea 2-D), apoi scade și dispare când bila iese de cealaltă parte a Lumii 2-D. Astfel, în fiecare moment 2-Deul va vedea doar o secțiune transversală a bilei.

SPAȚIUL CURB

Am menționat mai sus că această Lume 2-D imaginară nu trebuie neapărat să fie infinit de întinsă; ea poate avea o margine care să-i definească frontiera. Vom vedea mai târziu că universurile n-au margini, așa că pesemne Lumea 2-D se continuă la nesfârșit. Se dovedește că ea se continuă la nesfârșit dacă e plată, ceea ce am presupus până acum. Dar dacă locuitorii Lumii 2-D ar trăi pe suprafața unei sfere? Spațiul lor e curbat și nu mai e o mărime infinită. La urma urmei, o sferă are o anumită arie finită, iar suprafața ei nu are margini, din moment ce 2-Deii se pot mișca oriunde în univers fără să întâlnească un punct dincolo de care nu mai pot înainta. Ideea importantă și subtilă care trebuie înțeleasă aici este că, deși Lumea 2-D e suprafața unei sfere 3-D, interiorul sferei și tot spațiul din afara suprafeței poate nici să nu existe din perspectiva 2-Deilor. Așadar, într-un fel, analogia cu oamenii care trăiesc pe suprafața Pământului nu trebuie împinsă prea departe, fiindcă noi suntem ființe

3-D lipite de suprafața unui obiect 3-D. 2-Deii au acces doar la suprafața 2-D. Interiorul sferei nu există pentru ei.

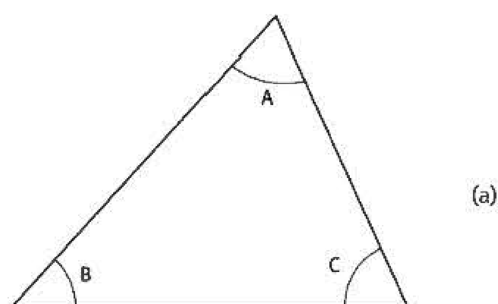
Întrebarea interesantă pe care vreau s-o pun este dacă 2-Deii și-ar putea *da seama* că spațiul lor e curbat.

Pentru ei, un mijloc de a afla ar fi acela prin care noi putem demonstra că Pământul nu e plat: să trimită pe cineva într-o direcție, iar în cele din urmă el să se întoarcă în punctul de plecare din direcția opusă. Desigur, noi trimitem acum pe orbită astronauți care pot vedea că Pământul e rotund, dar locuitorii universului 2-D sunt prizonieri pe suprafața lor. Mai există însă un mijloc prin care ei să-și dea seama dacă lumea lor e curbă.

Învățăm la școală că suma unghiurilor interne ale unui triunghi e întotdeauna 180 de grade. Indiferent cât de mare desenăm triunghiul sau ce formă are, răspunsul e mereu același. Dacă triunghiul are un unghi drept, atunci suma celorlalte unghiuri trebuie să fie 90 de grade. Dacă unul dintre unghiuri e obtuz – are, de pildă, 160 de grade –, suma celorlalte două trebuie să fie 20 de grade etc. Înainte să vă simțiți prea mândri că stăpâniți ceva geometrie, am să vă dezamăgesc afirmând că povestea asta cu suma unghiurilor unui triunghi care e mereu 180 de grade este adevărată *doar dacă triunghiul e desenat pe o suprafață plată*. Un triunghi desenat pe o sferă are unghiuri a căror

sumă e mereu mai mare de 180 de grade. Iată un exemplu simplu care demonstrează ce vreau să spun. Pentru a înțelege asta, aveți nevoie de o minge și o cariocă.

Să ne închipuim că un explorator își începe călătoria la Polul Nord. Pornește în linie dreaptă spre sud (când ești la Polul Nord, singura direcție în care te poți îndrepta e sudul), trece prin extremitatea estică a Canadei, apoi prin Atlanticul de vest. Are, desigur, grijă să evite Triunghiul Bermudelor, din moment ce crede toate superstițiile absurde. Continuă drumul spre sud până atinge Ecuatorul, undeva în nordul Braziliei. Odată ajuns la Ecuator, se întoarce la stânga și pornește spre est prin Atlantic, deplasându-se în linie dreaptă de-a lungul Ecuatorului. Ajunge la țărmul Africii, apoi în Kenya, unde, sătul de clima toridă și umedă, se întoarce la stânga și se îndreaptă spre nord. Traversează Etiopia, Arabia Saudită, Orientul Mijlociu, străbate Europa de Est și se întoarce la Polul Nord.



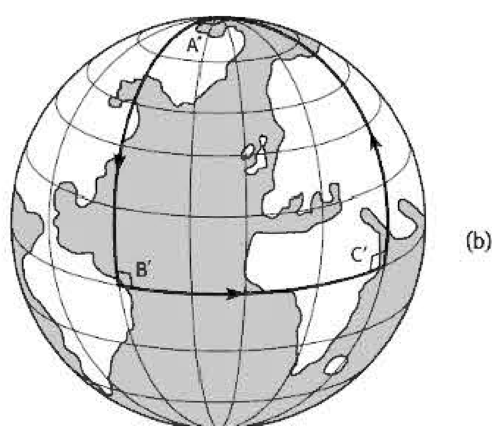


Figura 1.6 (a) Un triunghi desenat pe o foaie de hârtie plată are suma unghiurilor interne A + B + C = 180°. (b) Un triunghi desenat pe suprafața unei sfere are suma unghiurilor interne mai mare de 180°. Aici am reprezentat unul cu trei unghiuri de 90°.

Urmărind în linii mari traseul lui, îți dai seama că a parcurs un triunghi (figura 1.6b). Să ne uităm la cele trei unghiuri. Ajungând la Ecuator și întorcându-se la stânga, s-a rotit cu 90 de grade. Când părăsește Ecuatorul pentru a se îndrepta spre nord, a mai făcut o rotație de 90 de grade. Suma acestor două unghiuri este deja 180 de grade. Dar n-am inclus unghiul de la Polul Nord între direcția în care a plecat și direcția din care s-a întors. Acesta e și el de vreo 90 de grade – dimensiunea lui depinde, evident, de distanța străbătută de-a lungul Ecuatorului. Eu am ales-o așa încât să parcurgă un triunghi ale cărui unghiuri însumate să dea 270 de grade.

Un asemenea triunghi e un caz extrem, dar regula de bază este că orice triunghi desenat pe suprafața unei sfere are suma unghiurilor mai mare de 180 de grade. De pildă, un triunghi care unește Parisul, Roma și Moscova va avea suma unghiurilor puțin mai mare de 180 de grade. Minuscula abatere de la 180 de grade se datorează faptului că un asemenea triunghi nu acoperă o parte mare din suprafața Pământului și e așadar aproape plat.

Întorcându-ne la 2-Dei, ei pot folosi aceeași tehnică pentru a verifica dacă spațiul lor e curbat. Ar putea zbura de pe planeta lor în linie dreaptă până la o stea îndepărtată. Acolo s-ar întoarce cu un anumit unghi zburând drept spre o altă stea, de unde s-ar întoarce acasă. Trasând astfel un triunghi, ei ar putea măsura cele trei unghiuri. Dacă suma lor e mai mare de 180 de grade[5], ar putea deduce că trăiesc într-un spațiu curbat.

Altă proprietate, pe care v-o amintiți pesemne din școală, este că circumferința unui cerc e dată de numărul *pi* înmulțit cu diametrul cercului. Valoarea lui *pi* e fixată. Există o tastă la calculatoarele de buzunar care îl dă pe pi cu zece zecimale (3,1415926536), dar cei mai mulți dintre noi îl țin minte ca 3,14. E drept, eu țin minte toate cele zece zecimale pe care le arată calculatorul, dar asta numai pentru că folosesc numărul *pi* foarte des în munca mea – e ca și cum aș ține minte un număr de telefon foarte important. Am un prieten matematician care știe primele 30 de zecimale, altminteri însă e un tip normal. Ni se spune că *pi* e o constantă matematică. Este definit ca raportul dintre două numere: circumferința și diametrul oricărui cerc în spațiul plat. Dacă exploratorul nostru s-ar deplasa de-a lungul Cercului Arctic, care are un diametru ce poate fi măsurat cu precizie (este dublul distanței de la Cercul Polar la Polul Nord, care e raza lui), atunci, înmulțind această

valoare a diametrului cu *pi* (așa cum se calculează circumferințele cercurilor), ar obține o valoare ceva mai mare decât circumferința Cercului Arctic.

Detectând curbarea unei părți a suprafeței Pământului, exploratorul nu poate respinge posibilitatea ca în altă parte a lumii suprafața să fie curbată altfel, așa încât Pământul să nu fie neapărat închis în sine pentru a forma o sferă. Se poate convinge că Pământul e rotund numai dacă străbate tot globul.

La școală, învățăm proprietățile triunghiurilor și cercurilor în ceea ce se numește geometrie euclidiană sau „plată“. Geometria 3-D a sferelor, cuburilor și piramidelor face și ea parte din geometria euclidiană, dacă acestea sunt cufundate în spațiul 3-D plat. Proprietățile lor se schimbă dacă spațiul 3-D e curbat asemănător cu felul în care se schimbă proprietățile triunghiurilor și cercurilor când sunt desenate pe un spațiu 2-D curbat, cum e suprafața unei sfere. Spațiul nostru 3-D ar putea fi deci curbat, dar n-avem nevoie să vizualizăm a patra dimensiune pentru a „vedea“ această curbură. Putem s-o măsurăm indirect studiind geometria spațiului 3-D și obiectele solide din el. În practică, nu vedem niciodată vreo abatere de la geometria euclidiană, pentru că trăim într-o parte a universului unde spațiul e atât de aproape de a fi plat, încât nu detectăm nici o

curbură. E ca și cum ai încerca să detectezi curbura Pământului desenând un triunghi pe un teren de fotbal.

Dar dacă există o a patra dimensiune a spațiului, în afară de cele trei? Ce putem spune despre proprietățile ei? Să începem prin a recunoaște că a patra dimensiune reprezintă pentru noi ce reprezintă a treia dimensiune pentru 2-Dei. Imaginează-ți că stai în centrul unui cerc mare trasat pe solul plat, așa cum e cercul din centrul terenului de fotbal. Dacă mergi în linie dreaptă în orice direcție, te îndrepți spre perimetrul cercului. Aceasta se numește direcție *radială*, fiindcă atunci când vei ajunge la perimetru vei fi mers de-a lungul razei cercului. Pe de altă parte, o pasăre aflată în centrul cercului se poate mișca de-a lungul celei de-a treia dimensiuni: în sus. Dacă zboară drept în sus, se va îndepărta în fiecare moment de toate părțile cercului.

Să adăugăm acum o altă dimensiune la acest exemplu și să ne imaginăm că pasărea se află în centrul unei sfere (de pildă, o colivie sferică). În orice direcție ar zbura, ea se va îndrepta spre gratiile coliviei, iar pentru ea toate direcțiile sunt radiale. La fel ca în exemplul 2-D al cercului, în care pasărea se poate îndepărta de cerc de-a lungul celei de-a treia dimensiuni, ne dăm seama acum ce poate însemna să te miști de-a lungul celei de-a patra dimensiuni. Pornind din centrul cuștii, este direcția în care pasărea

s-ar îndepărta de toate punctele coliviei în același timp. Nu-i o direcție pe care s-o putem concepe, fiindcă, așa cum am spus, creierul nostru operează doar cu trei dimensiuni. Ce am vedea dacă am avea o pasăre magică, în stare să folosească a patra dimensiune, prizonieră într-o colivie? Am vedea-o dispărând din câmpul nostru vizual, iar apoi revenind în spațiul nostru 3-D altundeva, poate în afara coliviei. Ni s-ar părea la fel de uimitor cum li s-ar părea 2-Deilor capacitatea noastră 3-D de a culege obiecte din spațiul lor 2-D.

Alt efect interesant al utilizării unei dimensiuni superioare apare când obiectele sunt întoarse pe dos. Imaginează-ți că l-ai putea ridica pe un 2-Deu din lumea lui, l-ai răsuci așa încât stânga și dreapta lui să fie inversate, apoi l-ai pune la loc. O vreme ar fi derutat. Nu se va simți altfel, însă fiecare lucru din jurul lui va fi pe partea inversă. Va trebui să se adapteze pentru a locui într-o lume în care soarele 2-D nu mai răsare din dreapta, ci din stânga. Și va trebui să meargă în direcție opusă pentru a ajunge de-acasă la serviciu.

Lucrurile sunt și mai amuzante dacă te gândești cum ar fi pentru tine dacă o ființă 4-D te-ar culege din lumea noastră 3-D și te-ar răsuci. La început, ceilalți ar observa ceva puțin diferit la tine: fața ta le-ar apărea așa cum îți apărea ție în oglindă. Uitându-te apoi în oglindă, vei vedea și tu diferența, pentru că

nimeni nu are o față perfect simetrică, partea stângă e ușor diferită de cea dreaptă. Poate că un ochi e puțin mai jos decât celălalt, sau, ca în cazul meu, nasul e ușor înclinat într-o parte, ori ai o aluniță pe obraz etc. Însă e doar începutul necazurilor tale. Totul în jur îți apare inversat. Scrisul e în sens opus, acele de ceasornic se rotesc în sens contrar, iar tu ești acum stângaci dacă înainte erai dreptaci. Poți testa cum ar arăta lucrurile privind lumea în oglindă.

EXISTĂ ÎNTR-ADEVĂR O A PATRA DIMENSIUNE?

Dacă ai ști câte ceva despre teoria relativității (ceea ce eu nu presupun), ai fi puțin derutat. N-a spus oare Einstein că timpul e a patra dimensiune? Da și nu. Să ne întoarcem, de pildă, la exemplul cu submarinul care are nevoie de trei numere pentru a i se preciza poziția. Dacă se deplasează, menționarea acelor numere e inutilă dacă nu știm și *când* s-a aflat submarinul în acea poziție. Așa încât avem nevoie de patru numere pentru a-i localiza corect poziția: latitudinea, longitudinea, adâncimea și timpul la care a avut acele valori. În capitolul 7 voi vorbi despre relativitatea specială a lui Einstein, în care timpul și spațiul sunt legate într-un mod surprinzător, formând ceva numit spațiu-timp cvadridimensional. Deocamdată nu trebuie să pierdem din vedere

faptul că timpul *nu* este la fel ca cele trei dimensiuni ale spațiului. Suntem liberi să ne mișcăm înainte și înapoi de-a lungul celor trei axe spațiale, dar suntem obligați să ne mișcăm înainte de-a lungul axei timpului (din trecut spre viitor). Întrebarea aici este dacă poate exista, dincolo de simțurile noastre, o a patra dimensiune.

Cu o sută de ani în urmă, unii dintre cei mai respectați savanți credeau că lumea spiritelor, tărâmul duhurilor și al fantomelor, e cvadridimensională și include spațiul nostru 3-D. Locuitorii acestei lumi cu mai multe dimensiuni trec din când în când prin lumea noastră 3-D, însă altminteri ne sunt invizibili. Astăzi, desigur, nu prea mai există oameni de știință serioși (cu excepția unor excentrici) care să creadă așa ceva, ceea ce însă nu înseamnă că dimensiunile superioare au fost respinse. Noi teorii din fizică, încă netestate, sugerează că ar putea exista chiar mai mult de patru dimensiuni ale spațiului, toate cele suplimentare aflându-se în afara percepției noastre. Două teorii la modă, numite teoria supercorzilor și teoria6M,[1] sugerează că universul nostru conține de fapt nouă și, respectiv, zece dimensiuni ale spațiului (plus una a timpului). Toate dimensiunile suplimentare sunt încolăcite atât de strâns, încât nu le putem detecta. Poate că vi se par aberații,

însă una dintre aceste teorii exotice s-ar putea dovedi că descrie realitatea ultimă aflată la baza universului nostru.

Chiar dacă nu există decât cele trei dimensiuni ale spațiului pe care le cunoaștem, vom vedea în capitolele următoare că e util să ai la dispoziție o dimensiune suplimentară pentru a înțelege un anumit aspect al teoriei relativității: spațiul curb.

---

2. Mai precis, de fiecare dată când vorbesc despre curbarea spațiului 3-D ar trebui să spun curbarea „spațiului-timp“ 4-D. Așa ar trebui să numim, conform teoriei relativității, combinația celor trei dimensiuni spațiale cu cea a timpului. Las însă pe mai târziu discutarea modului în care se combină spațiul și timpul. (*N. a.*)

3. *Flatland* e o nuvelă publicată în 1884 de E.A. Abbott, iar *Planiverse* un roman publicat în 1884 de A.K. Dewdney. (*N. t.*)

4. Presupun că putem vorbi cu ei și îi putem auzi. Sunetul e transmis de vibrațiile moleculelor noastre de aer 3-D. Aceste vibrații sunt pesemne transferate moleculelor 2-D din Lumea 2-D. Evident, e complet absurd, dar e amuzant să te gândești la asta. (*N. a.*)

5. O suprafață poate fi curbată și în alt mod, așa încât suma unghiurilor unui triunghi trasat pe ea să fie mai mică de 180 de grade. Voi reveni la asta. (*N. a.*)

6. „M“ vine de la „membrană“, dar „teoria membranelor“ sună rău, așa că mulți fizicieni

preferă ca „M“ să vină de la „magic“, odată ce afirmă că teoria poate explica toate forțele din natură. (*N. a.*)

2
Materia și gravitația

MERE ȘI LUNI

Povestea spune că Isaac Newton stătea sub un măr, iar când i-a căzut un măr în cap a descoperit legea gravitației – adică șocul i-a produs revelația. (Mărul cade – aha! –, deci Pământul exercită o forță asupra mărului, trăgându-l în jos.) Bineînțeles că n-a fost așa simplu. Au observat și alții înaintea lui Newton că obiectele cad. Descoperirea lui a fost mult mai impresionantă.

Poate că e un mit povestea cu mărul care i-a căzut în cap, dar Newton ne spune că a ajuns la faimoasa lege a gravitației universale privind cum cade un măr la ferma mamei lui, și întrebându-se de ce Luna se rotește în jurul Pământului. Ce anume a văzut Newton în căderea unui măr, iar toți ceilalți dinaintea lui n-au putut să vadă? Simplu spus, el a văzut dincolo de ceea ce e evident – toate obiectele au tendința să se miște în jos spre Pământ – și a înțeles că exista o forță a gravitației între măr și Pământ care face nu numai ca mărul să „cadă în jos“ spre Pământ, dar și ca Pământul să „cadă în

sus“ spre măr. De fapt, e mai bine să nu te gândești la obiecte care cad, ci că Pământul și mărul sunt atrași unul spre altul.

Fire deschisă, prietenos, îndrăgit de semeni, familist – toate astea erau complet străine de Isaac Newton. Născut la Woolsthorpe, în Lincolnshire, Anglia, în ziua de Crăciun a anului 1642,[1]7a fost un om singuratic, nu s-a însurat niciodată și n-a prea avut prieteni. Spre sfârșitul vieții a intrat în dispute aprige și îndelungate cu alți oameni de știință în privința paternității anumitor descoperiri. Dar în ciuda imaginii generale negative pe care o au azi oamenii de știință în mediile populare, și care din păcate îi îndepărtează de subiect pe mulți adolescenți, fără îndoială că Newton n-a fost un om de știință tipic. Lipsa aptitudinilor sociale a fost recompensată prin ceea ce îi face pe mulți să-l considere cel mai mare om de știință din istorie. A avut atât de multe contribuții în atât de multe domenii, încât cea mai mare parte a fizicii care se predă azi la școală se numește fizică newtoniană. Asta pentru a o deosebi de fizica modernă a secolului XX, despre care voi vorbi în cartea de față. Newton a inventat de asemenea tehnica matematică a calculului diferențial și integral (analiza matematică), în prezent instrumentul standard în studiul fizicii, care a declanșat însă o îndelungată controversă. S-a pus problema cine a fost creatorul analizei matematice: Newton sau matematicianul

german Gottfried Leibniz? În cercurile științifice ale timpului, disputa, în care englezii susțineau că al doilea i-a furat ideea primului, iar germanii susțineau că era invers, a căpătat o inflamare patriotică asemănătoare rivalității de azi la meciurile dintre două echipe naționale de fotbal. Spre deosebire însă de deznodământul de azi cu penaltiuri de departajare, în bătălia pentru analiza matematică n-a existat un învingător clar. Se pare că fiecare și-a elaborat tehnica în mod independent. Oricum, bazele fuseseră puse în mare parte cu o jumătate de secol înainte de matematicianul francez Pierre de Fermat.

Să ne întoarcem la gravitație. Cu mult înaintea lui Newton se înțelesese că motivul pentru care obiectele cad e atracția pe care Pământul o exercită asupra tuturor lucrurilor. Se știa de asemenea că Luna se rotește în jurul Pământului pentru că Pământul exercită un soi de forță misterioasă asupra ei, împiedicând-o să plutească prin spațiu. Newton a făcut legătura între aceste două fenomene. A pune mișcarea Lunii și căderea mărului pe seama aceleiași forțe (gravitația) a fost o lovitură de geniu îndrăzneață. Până atunci se credea că legi ale naturii complet diferite guvernează comportamentul obiectelor de pe Pământ (mere) și al corpurilor cerești (Luna).

Legea newtoniană a gravitației afirmă că orice două obiecte din univers vor fi atrase unul spre altul de o forță invizibilă. Pământul și

fiecare obiect de pe suprafața lui, Pământul și Luna, Soarele și planetele, chiar și Soarele și restul galaxiei noastre, toate sunt atrase unele de altele. Așadar, nu numai Pământul ne ține lipiți de suprafața lui; într-un fel, și noi ținem Pământul lipit de picioarele noastre, din moment ce atragem Pământul spre noi cu tot atâta forță cu câtă acționează el asupra noastră. Când am spus mai devreme că Pământul „cade în sus“ către mărul care cade, nu era doar o metaforă. Este adevărat că, fiind lipiți de suprafața Pământului, vedem mărul mișcându-se spre Pământ. Dar mărul e tot atât de îndreptățit să afirme (în măsura în care merele au drepturi) că nu se mișcă deloc, și că Pământul se mișcă spre el.

La fel, un bărbat și o femeie plutind unul lângă altul în spațiul vid vor fi atrași *fizic* unul spre altul – chiar dacă nu simt vreo „atracție fizică“ unul pentru altul – de forța gravitațională care îi va face să se apropie încet și mai mult. Această forță va fi însă foarte slabă (echivalentul forței minuscule necesare să ridici un grăunte de zahăr, dacă la început distanța dintre ei a fost de câțiva centimetri). Forța gravitațională e foarte slabă atunci când masele implicate sunt foarte mici.

De ce aceeași forță gravitațională care face ca mărul să cadă nu prăbușește și Luna pe Pământ? Diferența dintre cele două cazuri este că, deși Luna are o masă mult mai mare, ea se rotește pe

orbită în jurul Pământului, și în fiecare moment se deplasează pe o direcție tangentă la traiectoria orbitei ei, în vreme ce mărul se mișcă spre centrul Pământului. De fapt, nu-i o exprimare prea fericită. O mai bună definiție pentru „pe orbită“ e să spunem că Luna cade spre Pământ pe o curbă care formează o traiectorie circulară în jurul Pământului, așa încât nu reușește niciodată să se apropie mai mult. Când Newton a făcut pentru prima dată acest calcul, în timpul ciumei din anul 1666, a crezut că obținuse un răspuns greșit și, dezamăgit, s-a abținut să-și publice rezultatele. Abia mulți ani mai târziu, discutând problema cu prietenul său Edmund Halley (cel care a dat numele faimoasei comete), a înțeles importanța descoperirii lui.

Legea newtoniană a gravitației a avut un enorm succes vreme de trei sute de ani. Observați că e cunoscută drept *legea* gravitației, fiindcă oamenii de știință erau atât de siguri că e ultimul cuvânt în privința gravitației, încât au așezat-o mai presus de orice simplă teorie care putea fi abandonată dacă apărea ceva mai bun. Dar tocmai asta s-a întâmplat în 1915. Grație lui Einstein. Albert Einstein.

GRAVITAȚIA LUI EINSTEIN

Legea newtoniană a gravitației părea să descrie o forță invizibilă, aproape magică, acționând

asupra tuturor obiectelor, indiferent cât de îndepărtate (deși, așa cum am spus, devine mult mai slabă când distanța crește) și indiferent ce se află între ele, chiar dacă e vorba de spațiul vid. Spunem de aceea că forța gravitațională nu necesită un „mediu“ (sau un „material“) prin care să acționeze. Einstein a dat o explicație mult mai profundă. El a afirmat că gravitația nu acționează direct asupra obiectului, ci asupra spațiului însuși, făcându-l să se curbeze. Curbarea spațiului face apoi ca obiectele din el să se comporte în mod diferit decât dacă spațiul n-ar fi curbat. E derutant? Să facem un pas înapoi și să vedem cum a ajuns Einstein la această interpretare absconsă, aparent inutilă.

Ați fost vreodată într-un simulator ca acelea din parcurile de distracție? Iei loc pe scaun alături de câțiva pasageri într-o capsulă închisă și urmărești un scurt film cu o scenă futuristă de urmărire. Capsula pare într-adevăr să accelereze, să frâneze, să cotească brusc, să salte, să urce și să cadă. Asemenea iluzii se creează foarte ușor folosind *principiul echivalenței* al lui Einstein, care e atât de simplu încât poate fi exprimat prin două cuvinte: forța g. Einstein a înțeles că forța pe care o simți când ești accelerat (ca într-un avion înainte de decolare) și forța gravitațională sunt echivalente. De fapt, spunem că accelerația avionului care ne împinge în scaun produce o forță g. Aici, „g“ vine de la gravitație și este o

mărime în unități de accelerație, nu de forță. O accelerație de un „g“ este egală cu accelerația unui corp în cădere liberă.

La prima vedere pare cam tras de păr. La urma urmei, forța care te împinge în scaun se leagă de mișcare și accelerație, în vreme ce forța gravitațională acționează și când stai nemișcat (ținându-te lipit de sol). Gândiți-vă însă cum funcționează simulatorul. Cum se face că ai senzația de accelerare chiar dacă nu te uiți la imaginile convingătoare de pe ecran? Simulatorul doar se înclină și se balansează pe platforma lui. Pentru a-ți da impresia că accelerează înainte, cu un „g“, să zicem, nu-i nevoie decât să se încline pe spate, așa încât să fii îndreptat în sus. Suntem atât de obișnuiți cu senzația pe care o avem când stăm noaptea pe spate în pat, încât uităm de atracția gravitațională a Pământului care ne împinge capul în pernă. De fapt, forța asta e echivalentă cu forța care ne-ar împinge în scaun dacă am fi într-o mașină care accelerează din repaus până la o sută de kilometri pe oră în doar vreo două secunde și jumătate.

De aceea e atât de ușor să păcălești creierul făcându-l să creadă că forța gravitațională pe care o simțim de fapt în simulator este o forță datorată accelerării. La fel, atunci când cursa se oprește atât de brusc încât ești împins înainte, simulatorul pur și simplu se înclină în față, lăsând gravitația să facă restul.

Alt exemplu, folosit de regulă pentru a demonstra cum funcționează principiul echivalenței, este reversul exemplului cu simulatorul, și anume folosirea accelerației pentru a simula gravitația. Imaginează-ți că ești legat cu o centură în scaunul tău dintr-o rachetă reală, așteptând numărătoarea inversă pentru lansare. Stai în scaun orientat în sus, spre vârful rachetei. Să presupunem că ești atât de relaxat încât ațipești – puțin probabil, recunosc. Când te trezești, înainte să apuci să privești prin hublou, principiul echivalenței spune că nu vei putea face deosebirea dintre senzația pe care ai avea-o dacă racheta ar sta nemișcată pe rampa de lansare, gravitația împingându-te în scaun, și senzația pe care ai avea-o dacă racheta a părăsit de mult Pământul și se deplasează acum prin spațiu cu accelerația de un „g". Dacă reziști în continuare tentației de a privi prin hublou ca să verifici dacă te afli în întunericul vid al spațiului sau pe rampa de lansare, nu există nici un experiment pe care să-l efectuezi în rachetă pentru a-ți spune unde te afli.[8] Prin experiment înțeleg orice, de la simpla observare a oscilațiilor unui pendul sau a căderii unei mingi până la măsurători sofisticate implicând fascicule laser și oglinzi – adică orice experiment care ar putea distinge între comportamentul obiectelor supuse unei accelerări de un „g" și efectul gravitației Pământului.

În cele din urmă cedezi tentației și, privind în exterior, vezi că într-adevăr te deplasezi accelerat prin spațiu. Te-au epuizat toate acele experimente, așa încât adormi la loc. Când te trezești, te simți imponderabil. Bine că nu ți-ai desfăcut centura, îți zici, altminteri ai fi plutit și te-ai fi lovit cu capul de panoul de comandă. Acum însă te confrunți cu altă dilemă, dacă nu privești afară. Fie zbori prin spațiu la viteză constantă, cu motoarele rachetei oprite, ceea ce explică senzația de imponderabilitate, fie cazi prin atmosfera Pământului, și ești în pericol de moarte dacă nu preiei imediat controlul asupra rachetei. Când cazi liber în câmpul gravitațional al Pământului te simți imponderabil, ca și cum atracția gravitațională a Pământului ar fi fost anulată.

CĂDEREA LIBERĂ

Cei mai mulți dintre noi nu vor avea niciodată ocazia să se afle în situația de mai sus, așa încât iată alt exemplu.

Dacă ești suficient de curajos (nesăbuit?) să faci *bungy jumping*, vei fi iertat dacă, în timp ce plonjezi continuu accelerat, îți spui că n-ai simțit niciodată atât de intens gravitația. De fapt, lucrurile stau exact pe dos. S-ar putea să fie singura împrejurare din viața ta în care acțiunea gravitației e complet anihilată. Te afli în „cădere liberă“. În acele câteva secunde

palpitante, resimți o gravitație zero. E ca și cum gravitația și-ar ieși din drepturi, iar tu faci ce-ai visat dintotdeauna, necazul e însă că sub tine se află solul dur. Gravitația e absentă, fără să fi plecat, sau, mai corect spus, gravitația e complet anulată de accelerația ta. Senzația de cădere liberă e ceea ce simt astronauții când plutesc prin spațiu departe de gravitația Pământului (sau pe orbită în jurul Pământului). Nu-i de mirare că ei trebuie să se supună unor antrenamente riguroase pentru a învinge „răul de spațiu". De fapt, călătoria spațială e un lung *bungy jump*.

Ce înseamnă așadar să resimți gravitație zero? Să presupunem că, aflat în cădere, dai drumul unei pietre pe care o țineai în mână. Cum ea cade în același ritm cu tine, se va mișca alături de tine[9]. Un fizician – prespunând că are prezența de spirit să nu strige cât de grozav se simte și că ignoră pământul care se apropie în mare viteză – își va închipui că nu există decât el și piatra. Piatra pare să plutească lângă el, așa cum plutesc obiectele în gravitația zero din spațiu. De aceea, în exemplul rachetei, fără să privești afară nu poți stabili dacă racheta se mișcă prin atmosfera Pământului în cădere liberă sau plutește în spațiu.

Exemple ca acestea prezentate aici se numesc *experimente mintale*, pentru că n-avem nevoie să le efectuăm fizic pentru a descoperi ceva despre natură. Einstein era foarte mândru de o asemenea abordare și și-a petrecut timpul stând

și cugetând, în loc să lucreze într-un laborator pentru a efectua experimente reale – de altfel, el este cel care le-a numit experimente mintale (*Gedankenexperimente*). Desigur, *bungy jumping* și simulatorul în care ți se prezintă imagini din *Războiul stelelor* nu erau exemple la care să poată apela.

Care e legătura dintre accelerație și ideile lui Einstein despre spațiul curbat? Mi-e teamă că mai trebuie să explic multe lucruri. Să ne întoarcem la exemplul cu racheta. Amintește-ți de momentul în care te trezești și nu poți hotărî, fără să trișezi privind afară, dacă racheta încă n-a fost lansată sau e accelerată cu un „g“ în spațiu. Există un anumit experiment mintal pe care trebuie acum să-l efectuezi. Stai într-o parte a rachetei și arunci o minge pe orizontală, ca în figura 2.1a. Mingea va urma o traiectorie curbă și va lovi cealaltă parte într-un punct aflat sub cel în care ar fi lovit-o dacă s-ar fi deplasat în linie dreaptă. Asta ne-am aștepta să se întâmple dacă racheta ar fi nemișcată pe rampa de lansare, mingea supunându-se legii gravitației.

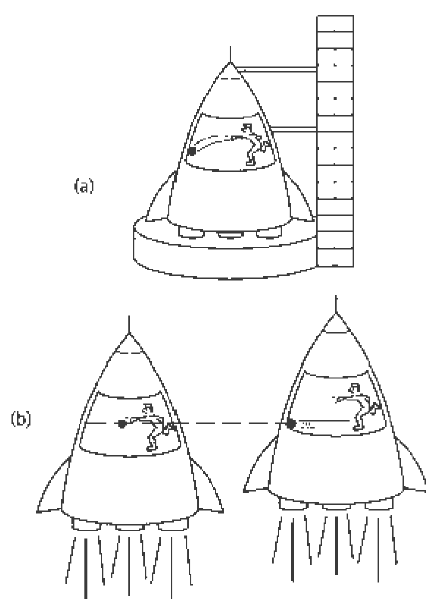


Figura 2.1 (a) Mingea aruncată sub efectul gravitației Pământului va urma o traiectorie curbă. (b) Mingea aruncată atunci când racheta se află în gravitație zero ar fi urmat o traiectorie dreaptă dacă racheta ar fi avut o viteză constantă. Dar cum racheta e accelerată, cel care aruncă mingea va vedea o traiectorie curbă descendentă, fiindcă racheta se va mișca mai repede decât mingea în momentul în care mingea lovește peretele opus.

Dacă racheta e accelerată, conform principiului echivalenței, trebuie să vezi mingea urmând o traiectorie curbă asemănătoare. Dacă racheta ar fi plutit liber în spațiu cu motoarele oprite (zburând cu viteză constantă), ar fi antrenat în mișcare și mingea odată cu ea, și ai fi văzut mingea deplasându-se în linie dreaptă, pentru că racheta și mingea au ambele aceeași viteză „orientată în sus“. Când însă racheta e accelerată, ca în figura 2.1b (observați că situația din dreapta e la o fracțiune de secundă mai târziu decât cea din stânga), mingea nu va simți această accelerație cât timp zboară prin rachetă. Așadar, în momentul când atinge cealaltă parte, racheta va avea o viteză ceva mai mare decât în momentul când mingea a părăsit mâna ta. Punctul de pe peretele opus în care mingea *ar fi trebuit* să ajungă s-a deplasat puțin în sus, iar tu vei vedea o traiectorie curbă. Principiul echivalenței intră din nou în joc. Deși explicația traiectoriei curbe e diferită în cele două cazuri, efectul observat de tine e același.

Acum, în loc să arunci o minge în rachetă, aprinde o lanternă la un capăt, așa încât fasciculul să fie îndreptat pe orizontală. Dacă ai avea un echipament suficient de sensibil, ai găsi că fasciculul se curbează ușor în jos. Este un efect pe care îl înțelegem ușor dacă racheta e accelerată în spațiu, fiindcă am folosi același raționament ca în cazul mingii. Deși lumina lanternei se propagă prin rachetă extrem de repede, trece totuși un timp finit până ajunge la celălalt perete, timp în care racheta a căpătat o viteză puțin mai mare, iar locul unde lumina ar fi trebuit să atingă peretele s-a deplasat puțin în sus.

S-ar putea să vă vină mai greu să credeți că fasciculul de lumină urmează aceeași traiectorie curbă când racheta e în repaus pe suprafața Pământului. Dar principiul echivalenței e atotputernic, și se dovedește că lumina nu se deosebește de minge. Chiar și pe suprafața Pământului lumina e ușor curbată în jos cu aceeași cantitate cu care e curbată în racheta accelerată.

Lumina nu cântărește nimic[10], deci cum poate fi curbată de gravitație? Energia poate fi însă concepută ca „masă înghețată“, iar lumina are fără îndoială energie, așa încât ne putem gândi că are greutate, și n-ar trebui să ne mire că se comportă ca obiectele materiale și e atrasă în jos de gravitația Pământului. De fapt, însuși Newton sugerase că lumina e compusă dintr-un

flux de particule minuscule, numite acum fotoni, care ar fi influențate de gravitație la fel ca mingea. E drept, am obține răspunsul greșit pentru valoarea curburii dacă am folosi abordarea lui Newton. Calculând valoarea curbării traiectoriei fasciculului de lumină în racheta staționară, pe baza raționamentului lui Newton că lumina are masă, deci e atrasă de forța gravitațională, am obține doar jumătate din valoarea măsurată în realitate cu echipamentul nostru sensibil. Trebuie deci să fie ceva greșit în legea newtoniană a gravitației când descriem efectul gravitației asupra luminii.

Raţionamentul lui Einstein a fost radical diferit. Explicația lui a eliminat complet forța gravitațională. În schimb, spunea el, toate obiectele materiale din univers vor influența spațiul și timpul din vecinătatea lor, făcându-le să se curbeze. În loc să se gândească că Pământul exercită o „forță“ asupra oamenilor, merelor, Lunii, mingilor și fasciculelor de lumină, Pământul face ca spațiul din jurul lui să fie curbat. Toate obiectele care se deplasează în această regiune a spațiului urmează pur și simplu liniile curburii. Nu există vreo forță care să mențină Luna pe orbită, nici vreo forță care atrage în jos fasciculul de lumină din racheta staționară. Totul se mișcă liber, însă de-a lungul unei traiectorii care e mereu cel mai scurt drum disponibil. Dacă spațiul ar fi plat, această traiectorie ar fi linia dreaptă, dar din moment ce

spațiul în care se mișcă e curb, la fel este și traiectoria pe care o urmează. Asemenea traiectorii în spațiul curb[11] se numesc geodezice.

Einstein a ajuns la aceste idei în perioada dinaintea Primului Război Mondial. Și-a desăvârșit teoria relativității generale în 1915, însă lumea a trebuit să aștepte până în 1919 ca teoria să fie testată experimental.

Einstein arătase că gravitația Soarelui trebuie să curbeze traiectoria luminii care ajunge la noi de la o stea îndepărtată, dacă lumina trece suficient de aproape de Soare în drumul ei spre Pământ. Problema era însă că, atunci când steaua se află în aceeași zonă a cerului ca Soarele, lumina solară strălucitoare ne împiedică să vedem steaua. Astronomii au trebuit să aștepte o eclipsă solară totală, când Luna se interpune între Soare și Pământ și obturează lumina solară, pentru a testa teoria lui Einstein. În 1919, astrofizicianul englez Sir Arthur Eddington a condus o expediție în jungla amazoniană, reușind să fotografieze o eclipsă solară și să măsoare unghiul mic cu care lumina unei anumite stele e deviată de câmpul gravitațional al Soarelui. A fost o măsurătoare dificilă, dar a dovedit că Einstein avea dreptate. Ziarele au publicat știrea pe prima pagină, iar numele lui Einstein a devenit cunoscut în întreaga lume.

SPAȚIU DE CAUCIUC

În capitolul 2 am arătat că spațiul nu e doar „un loc unde să pui obiecte“, ci are proprietățile sale geometrice. Aceste proprietăți sunt influențate de prezența masei. Pentru a vizualiza felul în care se curbează spațiul în apropierea unui obiect masiv, voi elimina o dimensiune a spațiului și voi analiza curbura unei Lumi 2-D.

Cel mai bun mod de a înțelege ce se întâmplă cu spațiul când introducem un obiect masiv e să ne imaginăm că spațiul (2-D) este ca o foaie de cauciuc. Să ne închipuim că o minge mică se rostogolește pe o plasă elastică. Ar trebui să urmeze o linie dreaptă. Dar dacă te așezi în mijlocul plasei și pui pe cineva să rostogolească mingea? Ai crea o adâncitură, materialul plasei elastice coborând puțin. Dacă traiectoria mingii se apropie suficient de adâncitură, ea va urma curbura și va fi deviată într-o altă direcție (figura 2.2). Privind de deasupra, ar apărea ca și cum ai fi exercitat o forță misterioasă asupra mingii, atrăgând-o spre tine și abătând-o de la traiectoria inițială dreaptă. Așa ne imaginăm că materia curbează spațiul din jurul ei. Curbarea face ca obiectele să urmeze o traiectorie diferită de cea pe care ar urma-o în absența curbării. Pe plasa elastică, mingea urmează o traiectorie geodezică – e drumul pe care-l urmează în mod natural, dată fiind curbarea plasei elastice pe

care o întâlnește. Traiectoria geodezică e așadar drumul cel mai scurt dintre oricare două puncte. Dacă te întreabă cineva care e distanța cea mai scurtă dintre două puncte, nu spune că e în linie dreaptă. Geodezica e o linie dreaptă doar dacă spațiul e plat. Dacă mingea s-ar deplasa mai încet de-a lungul aceleiași traiectorii pe plasa elastică, ar fi prinsă în adâncitură și s-ar roti spre picioarele tale.

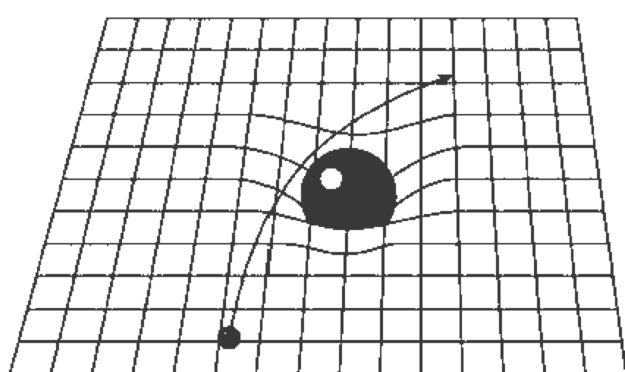


Figura 2.2 Pentru că un corp masiv (o stea sau o planetă) produce o adâncitură în spațiu, traiectoria corpurilor mai mici trecând prin apropierea lui va fi curbată de adâncitură. Punem pe seama acestei curbări forța de atracție gravitațională.

În exemplul de mai sus, materialul plasei elastice reprezintă spațiul 2-D, iar analogia e doar aproximativă, din moment ce toate obiectele din acest spațiu imaginar trebuie să existe în cele două dimensiuni, în vreme ce mingea e un obiect 3-D care se rostogolește pe suprafață. La fel, adâncitura pe care o produci stând pe plasa elastică se datorează de fapt gravitației Pământului, în vreme ce eu îți cer să-ți închipui că masa *ta* este cea care curbează spațiul 2-D. În realitate, din moment ce ești un

obiect 3-D în spațiul 3-D, tu curbezi spațiul real din jurul tău. Efectul e însă atât de mic, încât nu poate fi măsurat. Este totuși adevărat că, de fiecare dată când ții regim, nu obții doar o burtă mai plată – ceea ce în ultima vreme mi se pare tot mai greu –, dar și spațiul din jurul tău devine puțin mai plat, fiindcă ai o masă mai mică!

Putem acum înțelege interpretarea pe care Einstein a dat-o gravitației. Toate corpurile materiale curbează spațiul din jurul lor cu o cantitate care depinde de masa lor, iar acest spațiu curbat ghidează apoi toate corpurile care se mișcă în el, făcându-le să se deplaseze de-a lungul traiectoriilor geodezice. Aceste traiectorii pot fi înțelese dacă te gândești la rutele de zbor ale avioanelor.

Cu câțiva ani în urmă am zburat de la Londra la Tokyo pentru a participa la o conferință de fizică. M-am uitat în atlas ca să văd deasupra căror țări voi zbura. Uitasem că o hartă e proiecția plată a suprafeței curbe a Pământului. Așa încât, deși pe hartă distanța cea mai scurtă dintre două puncte (Londra și Tokyo, să zicem) arată ca o linie dreaptă, pentru a găsi cu adevărat distanța cea mai scurtă trebuie să ne uităm la un glob. Pentru asta, plasează capătul unei benzi elastice pe Londra, iar celălalt pe Tokyo. Banda va urma mereu linia geodezică, pentru că aceasta e drumul cea mai scurt dintre cele două puncte. Orice altă traiectorie ar fi mai lungă, iar banda ar trebui să se întindă mai mult.

Cum are tendința naturală de a-și minimiza lungimea, ea va găsi mereu ruta care presupune întinderea minimă. Vedem acum că ruta de zbor – dacă pilotul vrea să minimizeze consumul de combustibil și nu e abătut de la geodezică de condiții atmosferice defavorabile sau de interdicția de a survola spațiul aerian al unei țări – va trece deasupra unei regiuni aflate mult la nord și față de Londra, și față de Tokyo, o rută care apare curbă dacă o desenezi pe o hartă plată.

Odată ce am prezentat perspectiva lui Einstein asupra gravitației, putem vedea unele dintre consecințele ei fascinante, cum ar fi o gaură în spațiu în care totul poate cădea fiind pierdut pe veci: o gaură neagră. Vei descoperi că asemenea obiecte fantastice sunt realități științifice, nu SF, pentru că acum astronomii sunt aproape siguri că găurile negre există cu adevărat.[12]

Pentru a pregăti discuția despre găurile negre, trebuie mai întâi să aflăm câte ceva despre felul în care se pot forma. Pentru asta, spațiul trebuie să fie extrem de puternic curbat, ceea ce presupune densități imense. Nici întregul Pământ nu-i de ajuns[13] – ceea ce, apropo, exclude posibilitatea ca Triunghiul Bermudelor să fie un soi de gaură în spațiu care înghite vapoare și avioane, fiindcă o gaură de acea dimensiune necesită o masă mult mai mare

decât cea a întregii planete, și putem calcula cu ușurință masa Pământului după felul în care se rotește în jurul Soarelui.

Pentru a obține o curbare atât de puternică avem nevoie de ceva foarte mare, cum ar fi o stea.

STELELE

Ce sentimente te cuprind când privești cerul într-o noapte senină? Ești copleșit de vastitatea cosmosului? Te-ai întrebat ce se întâmplă acolo sus, printre nenumăratele puncte sclipitoare pe care le numim stele, și care ne par totuși insignifiante? Uităm adesea ce sunt ele de fapt: uriașe cazane de foc, de milioane de ori mai mari decât Pământul. Căci stelele sunt atât de îndepărtate, încât celor mai rapide rachete le-ar lua mulți ani ca să ajungă la vecina noastră cea mai apropiată. Dar există o stea la care rachetele noastre ar ajunge în câteva luni.

Cea mai apropiată stea de Pământ e un vechi prieten. Fără el n-am exista. Cu căldura și lumina lui, Soarele susține practic întreaga viață de pe Pământ. Considerăm de la sine înțeleasă căldura generată în interiorul lui și radiată pentru a-i scălda planetele. Scriitorul Douglas Adams rezumă superb indiferența noastră:

> Câteva miliarde de bilioane de tone de nuclee de hidrogen în explozie s-au înălțat încet deasupra orizontului, lăsând impresia că sunt ceva mic, rece și puțin umed.

Există stele de diferite culori și dimensiuni, iar Soarele nostru e dintre cele relativ obișnuite. Are o vârstă medie și e mai curând mic. Un astrofizician îți va spune că e o pitică galbenă, din secvența principală, G2. Sună impresionant, nu-i așa? Însă cam stânjenitor. Închipuiește-ți snobismul intergalactic: niște vizitatori din stele mari albe, din clasa A, cum sunt Sirius și Vega, privindu-ne de sus cu urechile lor (au nasurile în vârful capului). Dar când e vorba de stele este un avantaj să fii mic.

Toate stelele au o anumită speranță de viață, care variază de la un milion la multe miliarde de ani, în funcție de ce se întâmplă în interiorul lor și, în ultimă instanță, de masa lor, cantitatea de materie pe care o conțin. Ce se întâmplă deci într-o stea? Știm că toate stelele sunt un fel de oale cosmice de gătit. Majoritatea atomilor care compun corpul tău au fost sintetizați în interiorul unei stele cu mult înainte să apară Soarele și sistemul nostru solar, o stea care nici nu mai există. Îmi dau seama că ne abatem de la firul principal al poveștii, crearea unei găuri negre, dar ciclul de viață al unei stele joacă un

rol esențial în poveste. Stelele trec în timpul vieții lor prin mai multe faze, fiecare mai fascinantă decât precedenta.

GĂTIREA ELEMENTELOR

Tot ce ne înconjoară e alcătuit din atomi. Există 92 de tipuri de atomi, numite elemente, de la cele mai ușoare gaze, cum sunt hidrogenul și heliul, la carbon, oxigen și azot, apoi la elemente mai grele, cum sunt aluminiul, nichelul, fierul, aurul, până la cele mai grele, cum sunt plumbul și uraniul. Te-ai întrebat vreodată cum au apărut diverșii atomi? Procesul se numește nucleosinteză. La mai puțin de un minut după nașterea universului, existau condiții pentru sinteza celor mai ușoare două elemente, universul conținând aproximativ 75% hidrogen și 25% heliu, precum și cantități infime din următoarele elemente din tabelul periodic, cum sunt litiul și beriliul. Acest amestec e materia primă a stelelor. Când se formează nori din acest gaz interstelar, ei încep să se contracte sub acțiunea atracției lor gravitaționale. Pe măsură ce gazul devine mai dens, se încălzește și, treptat, se formează o stea în centru. Când temperatura atinge câteva milioane de grade, e suficient de fierbinte pentru ca steaua să fie amorsată.

Stelele strălucesc ca rezultat al procesului de fuziune termonucleară. Asta se întâmplă atunci

când nucleele a doi atomi de hidrogen fuzionează pentru a forma nucleul unui atom de heliu, eliberând în cursul procesului o mare cantitate de energie. Oamenii de știință au încercat, până acum fără succes, să imite pe Pământ acest proces în mod controlat, pentru a produce o cantitate enormă de energie curată (neradioactivă). Problema este că nu putem împiedica plasma la temperaturi extrem de înalte să iasă din cuptoarele noastre de fuziune. Pe de altă parte, stelele continuă să ardă și să strălucească atâta vreme cât reacțiile de fuziune au loc în interiorul lor, fiindcă gravitația le menține unitatea. În același timp, procesul generează o presiune orientată spre exterior care contrabalansează presiunea orientată spre interior datorată gravitației stelei.

Asta s-a întâmplat în Soare în ultimii cinci miliarde de ani, de când s-a născut (împreună cu cele nouă planete ale sale) dintr-un nor de gaz și praf. Soarele va continua să strălucească încă cinci miliarde de ani, așa că se află cam la jumătate din durata lui de viață. Pentru o stea este o durată de viață extrem de lungă, pentru care trebuie să-i mulțumească masei sale mici. Cu cât e mai masivă o stea, cu atât mai mare va fi presiunea ei gravitațională, deci interiorul ei va deveni mai dens și mai fierbinte, iar combustibilul nuclear se va consuma mai

repede. Cele mai mari stele, având mase de un milion de ori mai mari decât masa Soarelui, vor trăi doar câteva milioane de ani.

Peste cinci miliarde de ani, Soarele va intra în penurie de combustibil (hidrogen) și va trece treptat într-o nouă fază din viața lui. Va deveni ceea ce se numește o stea gigantă roșie. Când se va epuiza tot hidrogenul din miezul lui, va începe să se prăbușească sub propria-i greutate, iar materia din miezul lui va fi comprimată, așa încât se va încălzi din nou. În acest punct se vor întâmpla două lucruri: căldura din miez va face ca atomii de heliu să se apropie, formând elemente mai grele; în același timp, straturile exterioare ale Soarelui se vor extinde într-atât încât Mercur, planeta cea mai apropiată de Soare, va fi înghițit. Soarele va fi mult mai strălucitor și va acoperi jumătate din cerul privit de pe Pământ. Din păcate, nu vom putea asista la acest eveniment, pentru că suprafața Soarelui va fi atât de aproape încât Pământul va fi vaporizat. Oricum, dacă vor mai exista oameni peste cinci miliarde de ani, e de sperat că-și vor fi găsit de mult un nou cămin.

După încă un miliard de ani, Soarele va intra în faza finală a vieții sale, împrăștiind o parte din conținutul lui în spațiu. Astfel va apărea un frumos disc de gaz numit nebuloasă planetară, în centrul căruia se va afla miezul muribund al Soarelui: o stea pitică albă. Un asemenea obiect se formează când grosul masei Soarelui se

prăbușește sub acțiunea proprie-i gravitații la încheierea proceselor de fuziune termonucleară. Va fi alcătuită în principal din carbon cristalizat și oxigen, și va semăna cu un diamant sferic masiv de dimensiunea Pământului. Treptat, această pitică albă se va răci și va deveni tot mai palidă, până când își va da obștescul sfârșit. Un asemenea obiect e extrem de dens – un fragment din el de dimensiunea unui bob de mazăre ar cântări cam o tonă.

Așa își va încheia zilele Soarele nostru, într-un mod banal în comparație cu finalul apoteotic, cu focuri de artificii, al stelelor mai mari.

EXPLOZII PE CER

Nu toate stelele își încheie viața ca pitice albe. E suficient ca o stea să aibă masa doar de câteva ori mai mare decât Soarele pentru a se bucura de un sfârșit spectaculos. Odată terminate procesele nucleare din interior, masa mai mare face ca presiunea gravitațională exercitată asupra miezului să fie mai mare. Asta crește atât de mult densitatea și temperatura miezului, încât el emite o undă de șoc prin stea, făcând-o să explodeze ca o supernovă. Pentru scurt timp va fi cel mai spectaculos obiect din întreaga galaxie. Vreme de câteva zile va străluci de un miliard de ori mai intens decât toate stelele din galaxie laolaltă.

Scenariul de mai sus se referă la supernovele de tipul II. Ele au diferite străluciri și nu depind de condiția de a fi făcut sau nu parte dintr-un sistem binar de stele. Există și o altă modalitate prin care o stea să devină supernovă – supernovă de tipul I –, și anume în sistemele binare. Chiar dacă inițial steaua nu-i suficient de masivă, și ar sfârși ca pitică albă, ea poate atrage materie de la steaua parteneră, sporind în greutate până ajunge la masa critică.

Una dintre cele mai celebre supernove din ultimii ani a fost văzută în 1987. Toate stelele pe care le vedem pe cer sunt din galaxia noastră, Calea Lactee. Celelalte galaxii sunt atât de îndepărtate, încât nu le vedem stelele individuale. Steaua care a explodat în 1987 se afla într-o galaxie învecinată numită Marele Nor al lui Magellan, dar în momentul ei de maximă strălucire putea fi văzută clar pe cerul nopții.

În centrul multor rămășițe de supernove se află un mic miez dens, resturile stelei inițiale. Obiectul are cam același diametru ca un oraș precum Londra sau New York, deci e mult mai mic decât o stea pitică albă. E mult mai dens, din moment ce conține o parte importantă din materia stelei inițiale care a explodat. O bucată de dimensiunea unei mingi de fotbal din acest miez dens ar cântări pe Pământ cât Muntele Everest. Un asemenea obiect se numește stea neutronică, și e unul dintre cele mai fascinante obiecte din astrofizică. De fapt, în prezent,

stelele neutronice sunt un important subiect de studiu. Ați întâlnit, poate, termenul *pulsar*. Toate stelele neutronice se rotesc foarte rapid în jurul axei lor, și în timp ce se rotesc împrăștie un fascicul de radiație în spațiu. Dacă Pământul se află în traiectoria acestui fascicul, steaua neutronică va lăsa impresia că emite o lumină care pulsează, de unde numele pulsar. Unii pulsari se rotesc în jurul axei lor de mai multe ori pe secundă – vom reveni la ei când vom examina posibilitatea de a-i folosi la o mașină a timpului.

Să vedem acum ce se întâmplă când o stea și mai mare, de pildă cu o masă de douăzeci de ori mai mare decât a Soarelui, încetează să strălucească. O asemenea stea nu va putea rezista prăbușirii sub propria-i greutate. Va colapsa până când va ajunge la o densitate atât de mare încât nici lumina ei nu va putea scăpa de atracția gravitațională. Dacă privești de la distanță, steaua va dispărea brusc din vedere. A devenit o gaură neagră.

Povestea însă nu se oprește aici. În capitolul următor vom folosi ideile despre curbarea și întinderea spațiului pentru a privi universul în întregul lui. Multe din lucrurile pe care le-am aflat despre univers sunt rezultatul unor îndelungate măsurători și observații astronomice. Unele idei teoretice își așteaptă confirmarea, în vreme ce altele rămân pure speculații. Un lucru însă e cert: există încă

multe întrebări fără răspuns. În paginile următoare voi trece în revistă câteva dintre cele mai recente idei despre originea, forma, dimensiunea și soarta universului nostru.

---

7. Conform calendarului iulian, folosit pe atunci în Anglia. Conform calendarului gregorian, intrat deja în uz la acea vreme în alte țări europene și folosit azi pretutindeni, data nașterii lui a fost 4 ianuarie 1643. (*N. a.*)

8. Mă rog, cu un echipament suficient de sensibil ai putea sesiza diferența: câmpul gravitațional al Pământului e radial, nu plan. Asta înseamnă că, dacă lași să cadă două mingi una lângă alta pe Pământ, ele cad de-a lungul dreptelor care le unesc cu centrul Pământului. Aceste drepte nu sunt chiar paralele. Într-o rachetă accelerată, dreptele după care cad mingile sunt perfect paralele. (*N. a.*) [Riguros vorbind, câmpul gravitațional și accelerația sunt echivalente strict în *același punct*. În exemplul dat aici de autor, distanța dintre cele două mingi e finită – *N. t.*]

9. Acesta e experimentul pe care se presupune că l-a efectuat Galilei din vârful turnului din Pisa – nu, n-a sărit – arătând că toate obiectele cad în același ritm, indiferent de greutatea lor (admițând că nu sunt prea ușoare pentru a fi influențate de rezistența aerului, ca o hârtie sau o pană). (*N. a.*)

10. Deocamdată, luați-o ca atare, voi da explicații în capitolul 7. Ceea ce vreau să spun este că lumina nu posedă ceva numit masă de repaus. (*N. a.*)

11. Trebuie să subliniez din nou că vorbesc despre spațiu-timp cvadridimensional, nu despre

spațiul tridimensional. Unele exemple și analogii prezentate în această carte au doar rostul de a da o idee despre subiect, și nu trebuie luate *ad litteram*. A înțelege mai exact ce se întâmplă nu-i ușor, iar asta depășește cadrul cărții de față. (*N. a.*)

12. În 2019 a fost obținută prima fotografie a unei găuri negre, mai bine zis a efectelor gravitaționale pe care aceasta le produce. (*N. t.*)

13. În discuție este de fapt aici densitatea Pământului. Dacă întreaga masă a Pământului ar fi concentrată într-o sferă cu raza mai mică de 9 milimetri, atunci s-ar forma o gaură neagră. (*N. t.*)

3
Universul

O fi universul închis, dar se deschide iarăși după masa de prânz. — ERICA THURSTON, studentă la fizică la Universitatea din Surrey

FIRMAMENTUL

Dacă, la fel ca mine, locuiești într-o zonă urbană dens populată, unde poluarea luminoasă face ca până și într-o noapte senină să nu poți vedea decât câteva obiecte foarte strălucitoare pe cer, atunci îți va fi greu să recunoști multe stele sau planete. Cred că încă mai pot găsi pe cer Marte și Venus, vecinii noștri cei mai apropiați în afară de Lună, dar nu sunt sigur. În copilărie mă descurcam mult mai bine.

M-am născut la Bagdad și mi-am petrecut primii șaisprezece ani din viață în Irak, dar am părăsit pentru totdeauna țara împreună cu familia mea la sfârșitul anilor ’70, când climatul politic s-a schimbat. La fiecare doi ani petreceam vacanțele de vară la bunicii mei din Anglia, dar verile petrecute în Irak aveau farmecul lor. Ultimii nori dispăreau la sfârșitul

lui aprilie, cerul rămânând albastru până în octombrie, iar vacanța școlară se întindea pe trei luni și jumătate (mergeam însă la școală șase zile pe săptămână). În iulie și august temperaturile maxime depășeau 40°C, noaptea temperatura coborând rareori sub 30°C.

Ritualul cel mai palpitant care confirma sosirea verii în Orientul Mijlociu era urcarea așternutului pe acoperiș. Casele aveau scări care duceau spre acoperiș, acolo unde toată lumea dormea cam un sfert din an pentru a scăpa de căldura și umezeala sufocante. Nopțile de vară priveai cerul înțesat cu mii de stele, încercând să alcătuiești forme și tipare unind „punctele“. Ele erau în cele din urmă parțial obturate de plasele împotriva țânțarilor întinse peste pat, închizându-ne pe fiecare dintre noi într-un cort transparent. Nu ne făceam niciodată griji că ar putea ploua.

Trăind acum în sudul Angliei, aproape că am uitat cât de frumos e cerul noaptea, iar uneori duc dorul acelei emoții cu care priveam stelele căzătoare.

Puteam așadar recunoaște câteva stele. În copilărie, întins pe acoperiș, am învățat că unele dintre cele mai strălucitoare „stele“ nu erau stele, ci planete care străluceau numai pentru că, la fel ca Luna, reflectau lumina Soarelui când acesta se afla de cealaltă parte a lumii. Stelele adevărate erau de milioane de ori mai departe decât planetele, deci trebuiau să strălucească

mult mai intens pentru ca noi să le putem vedea. Țin minte și că am fost ușor dezamăgit și amuzat când am aflat că o stea căzătoare nu-i decât o piatră care arde când intră în atmosfera Pământului și se numește de fapt meteorit.

În capitolul de față se amestecă două domenii științifice înrudite: astronomia și cosmologia. Cei mai mulți oameni știu cu ce se ocupă astronomia, dar puțini știu ce înseamnă cosmologia – studiul universului ca întreg: forma, dimensiunea, nașterea și evoluția lui. Este una dintre cele mai atrăgătoare ramuri ale fizicii. Pune întrebări care par să depășească granițele științei, ba chiar pretinde că răspunde la ele.

Majoritatea lucrurilor pe care le știm despre univers le-am aflat prin experimente și observații astronomice minuțioase, continuu perfecționate pe măsură ce se construiesc telescoape tot mai puternice și sunt elaborate noi tehnici. Dar deși cosmologia este de regulă considerată un subdomeniu al astronomiei, cunoștințele dobândite despre univers au provenit și din alte domenii ale științei, cum sunt fizica nucleară, fizica particulelor și astrofizica teoretică. Cosmologia teoretică se ocupă cu crearea de modele matematice idealizate ale universului prin rezolvarea ecuațiilor relativității generale. Acestea pot fi formulate așa încât să descrie proprietățile

întregului univers, nu doar ale unei mici regiuni de spațiu și timp din vecinătatea unui obiect masiv cum e o stea.

La fel ca în restul cărții, voi discuta idei despre univers care, cel puțin în momentul în care scriu, reprezintă cea mai bună înțelegere la care am ajuns și teoriile cele mai promițătoare. S-ar putea ca, peste câțiva ani, unele dintre ele să se dovedească a fi false. Pe de altă parte, există anumite proprietăți ale universului în privința cărora nu ne prea îndoim, și sunt convins că ele vor trece testul timpului. La sfârșitul capitolului voi arăta care trăsături ale universului cred că sunt corecte și care rămân încă supuse dezbaterii.

Pentru a vă da o idee cât de rapid se schimbă și avansează ideile și teoriile din cosmologie ca rezultat al măsurătorilor astronomice tot mai precise, aflați că am fost obligat să rescriu mari părți din acest capitol la ultima revizie a manuscrisului. Vom vedea de altfel că 1998 a fost un an important în cosmologie.

CÂT DE MARE E UNIVERSUL?

Sunt tentat să spun pur și simplu FOARTE MARE, și nimic mai mult. De fapt, conform celor mai recente dovezi astronomice, universul s-ar putea să fie infinit, adică se continuă la nesfârșit. Însă, chiar și cu cele mai puternice telescoape pe care putem spera să le construim,

n-am vedea decât o mică parte din el. Există în spațiu un fel de orizont, dincolo de care nu vom putea vedea niciodată, o limită a ceea ce numim *universul vizibil*. Nu e propriu-zis o margine, ci se leagă de faptul că universul n-a existat dintotdeauna, iar luminii îi ia un anumit timp ca să ajungă la noi. Voi intra în detalii atunci când voi vorbi despre paradoxul lui Olbers.

Pământul se rotește în jurul Soarelui la o distanță de 150 de milioane de kilometri, de patru mii de ori mai mare decât circumferința Ecuatorului. Soarele și planetele alcătuiesc împreună sistemul solar. Rotația Pământului în jurul Soarelui durează 365 de zile și șase ore, de aceea avem nevoie de ani bisecți de 366 de zile, fiindcă de patru ori șase ore înseamnă o zi suplimentară.

Desigur, n-are rost să măsurăm uriașele distanțe astronomice în kilometri. Le măsurăm în raport cu distanța străbătută de lumină într-un an. În capitolul dedicat relativității speciale vom vedea că viteza luminii e cea mai mare viteză pe care o poate atinge ceva în univers.[14] Luminii îi ia totuși un anumit timp pentru a ajunge din A în B, în funcție de distanța dintre cele două puncte, ceea ce nu e evident când aprindem lumina într-o cameră, dar asta numai pentru că distanța pe care lumina o străbate de la bec la cele patru colțuri ale camerei e foarte mică. Durează vreo zece *miliardimi* de secundă până când lumina ajunge de la bec la pereții camerei.

La distanțe astronomice, timpul în care lumina ajunge dintr-un loc într-altul devine apreciabil. De pildă, lumina Soarelui ajunge în opt minute pe Pământ, străbătând 150 de milioane de kilometri. Durează însă cinci ore până ajunge la Pluto, planeta cea mai îndepărtată. Într-un an, lumina ar acoperi distanța Pământ-Soare de 60 000 de ori. Această distanță străbătută de lumină într-un an se numește *an-lumină*. (Cum altfel s-o numești?) E oarecum derutant să folosești un termen legat de timp pentru a defini o distanță, dar asta e situația.

Când privim prin telescop o stea aflată la distanța de un an-lumină, nu trebuie deci să uităm că ceea ce vedem este lumina care a părăsit steaua cu un an în urmă. Nu vedem steaua așa cum arată ea acum, ci versiunea ei ceva mai tânără. De fapt, privim în trecut. În geologie și arheologie, savanții caută în jurul lor dovezi (pietre și resturi fosile) pentru a deduce cum arătau lucrurile în trecut. Astronomii însă pot privi direct în trecut. Cu cât privesc mai departe în spațiu, cu atât e mai veche lumina pe care o captează telescoapele lor, și cu atât sondează un trecut mai îndepărtat. Cele mai îndepărtate obiecte care pot fi detectate pe Pământ sunt la distanțe de miliarde de ani-lumină și ne spun cum arăta universul pe când era foarte tânăr.

În afară de Soare, cea mai apropiată stea de noi e mult mai palida stea pitică Proxima Centauri, la o distanță de doar patru ani-lumină. Relativ aproape de ea este sistemul binar Alfa Centauri, o pereche de stele asemănătoare Soarelui, care se rotesc una în jurul celeilalte o dată la opt ani. Fiindcă veni vorba, Beta Centauri nu e în apropierea lui Alfa Centauri, ci de o sută de ori mai departe. Fiind însă o stea gigantă foarte strălucitoare și apărând în aceeași regiune a firmamentului cu Alfa Centauri, ni se pare că cele două sunt apropiate.

Distanțele dintre stele fiind atât de mari, suntem îndreptățiți să spunem că majoritatea spațiului nu-i decât spațiu gol, dar e o greșeală să credem că stelele sunt răspândite *uniform* prin univers. Distanțele până la vecinii cei mai apropiați pomenite mai sus sunt tipice pentru zona noastră, dar în alte zone stelele pot fi mai înghesuite. Fără excepție, toate stelele se adună în grupuri mari numite galaxii. Noi ne aflăm în galaxia Calea Lactee (sau Galaxia, cu majusculă, pentru a o deosebi de celelalte galaxii), care are formă de disc plat, cu o regiune centrală umflată. Regiunea exterioară vizibilă e alcătuită din brațe spirale – face deci parte din categoria galaxiilor spirale. Are raza de 80 000 de ani-lumină și, pentru a vă da o idee despre dimensiunea asta, există mai multe stele în Galaxia noastră (peste 200 de miliarde) decât oameni pe Pământ (aproape opt

miliarde).[15] Soarele se află pe unul dintre brațele spirale ale Galaxiei, și se rotește în jurul centrului ei o dată la 250 de milioane de ani. Centrul galactic e mai dens populat și conține stele mai bătrâne decât Soarele.

Ne putem închipui Galaxia ca pe un mare oraș de stele, Soarele aflându-se în suburbiile moderne, departe de agitația din centrul orașului. Toate stelele pe care le vedem pe cer cu ochiul liber sunt din Galaxia noastră, dar există multe *miliarde* de alte galaxii, fiecare cu propria ei populație de stele. Foarte puține dintre aceste stele, și dintre cele din galaxiile învecinate, pot fi văzute distinct fie și cu telescopul. Le putem vedea cu ochiul liber doar dacă explodează ca supernove, atunci când întrec în strălucire pentru scurt timp toate stelele din acea galaxie luate împreună.

După cum stelele se grupează în galaxii, galaxiile se grupează în roiuri de galaxii. Galaxia noastră este una din ansamblul pestriț de vreo 80 de galaxii care formează Grupul Local. Cel mai aproape de noi se află un număr de galaxii pitice agățate de Galaxia noastră. Cea mai apropiată galaxie mare este Nebuloasa Andromeda, aflată la o distanță de circa 2,5 milioane de ani-lumină, singura, în afară de Galaxia noastră, vizibilă de pe Pământ cu ochiul liber.

Măsurătorile astronomice au atins o asemenea precizie și complexitate cu telescoape

tot mai puternice, permițându-ne să sondăm tot mai adânc în spațiu, încât știm acum că, la rândul lor, roiurile de galaxii sunt grupate în *superroiuri*. Grupul Local face parte din Superroiul Local. Ce urmează? Un roi de superroiuri?

Ce spune asta despre univers? Este clar că are o structură neomogenă la fiecare scară: de la stele la galaxii, roiuri și superroiuri, materia tinde să se aglomereze neomogen. Aglomerarea se datorează, desigur, atotputernicei forțe gravitaționale, care dictează structura întregului univers. Atracția gravitațională reciprocă a tuturor stelelor din Galaxie le menține legate laolaltă. Gravitația face ca galaxiile să se aglomereze în roiuri și superroiuri, iar atracția gravitațională a întregului univers îi determină forma.

UNIVERSUL ÎN EXPANSIUNE

În ultima vreme publicul larg a tot aflat de expansiunea universului, dar ce înseamnă de fapt asta? E oare vreo idee ciudată născocită de oamenii de știință pe baza unor dovezi vagi care puteau fi interpretate și altfel? Răspunsul e nu. Există acum atât de multe dovezi în sprijinul observației că universul nostru devine tot mai mare, încât nu avem motive temeinice să ne îndoim. Expansiunea a fost confirmată încă din 1929, când astronomul americam Edwin Hubble

a făcut o descoperire remarcabilă, dar abia după ce câțiva cosmologi preziseseră deja teoretic efectul.

Primul cosmolog modern a fost, desigur, însuși Einstein. Curând după ce și-a dus la bun sfârșit teoria relativității generale în 1915, a început să-și folosească ecuațiile pentru a descrie proprietățile globale ale întregului univers. S-a izbit însă de o problemă gravă. Dacă la un moment dat toate galaxiile s-ar afla în repaus unele în raport cu altele, și prepunând că dimensiunea universului e finită, atunci atracția lor gravitațională reciprocă ar declanșa apropierea lor convergentă, iar universul s-ar prăbuși în el însuși. N-ar putea rămâne static. Ne confruntăm aici cu o idee subtilă (și nu e singura din acest capitol). În mod naiv, v-ați putea gândi că universul, definit prin volumul lui de spațiu, ar rămâne la aceeași dimensiune în timp ce materia pe care o conține ar gravita către „centrul“ lui. E greșit. Mai întâi fiindcă vedem că universul nu are un centru, iar apoi, oricum, am aflat că gravitația influențează spațiul însuși și nu acționează doar asupra materiei „din interiorul“ lui.

Predicția propriilor ecuații l-a nemulțumit pe Einstein. Perspectiva larg acceptată pe atunci – iar Einstein o îmbrățișa și el, în ciuda numeroaselor lui idei revoluționare – era că universul, la nivelul galaxiilor și la scară mai mare, trebuie să fie static și neschimbător.

N-avea importanță dacă fusese dintotdeauna așa sau dacă un Creator Divin i-a dat naștere la un moment îndepărtat din trecut – ambele perspective susțineau imaginea unui univers constant. Ideea de univers în evoluție era deopotrivă ciudată și inutilă. Așadar, când ecuațiile lui Einstein păreau să arate că universul trebuie să se contracte, el s-a hotărât să dreagă lucrurile. A susținut că, pentru a echilibra atracția spre interior, avea nevoie de o forță opusă antigravitațională, numită *forță repulsivă cosmică*, ce ar echilibra atracția gravitațională, ar menține toate galaxiile la distanță și universul stabil. Diferența dintre gravitație și antigravitație e aceeași ca diferența dintre forța de atracție dintre polii nord și sud ai magneților și forța de respingere dintre doi poli nord. Forța repulsivă cosmică apărea în ecuații ca un număr, pe care Einstein l-a numit *constantă cosmologică* și l-a notat cu litera grecească *lambda*. Prin acest truc matematic, el voia să obțină un model de univers static.

La câțiva ani după lucrarea inițială a lui Einstein, cosmologul rus Aleksandr Friedmann a publicat un articol în care propunea eliminarea repulsiei cosmologice (dând, în ecuațiile lui Einstein, constantei cosmologice valoarea zero). Aplicând universului ecuațiile relativității generale și făcând calculele, Friedmann a obținut soluții (alte ecuații) care preziceau că distanța dintre oricare două puncte din spațiu

creștea în timp. Găsise teoretic că universul devenea tot mai mare. Alți doi oameni de știință au ajuns la aceleași concluzii cam în același timp: astronomul olandez Willem de Sitter și cosmologul (și preotul) belgian Georges Lemaître.

Poate părea surprinzător ca, în absența repulsiei cosmice, universul să se dilate, nu să se contracte, dar un univers în expansiune poate fi înțeles în modul următor: să ne imaginăm că ceva a declanșat de la bun început expansiunea universului, o explozie inițială; atracția gravitațională a materiei din univers ar încerca atunci să încetinească ritmul expansiunii – aceasta era esența raționamentului lui Friedmann. Dacă nu există forță de respingere pentru a echilibra atracția gravitației, iar universul a început extinzându-se, atunci el fie se extinde, fie se contractă. Nu poate rămâne în echilibru între expansiune și colaps, fiindcă e un echilibru instabil.

Pentru a exemplifica, să ne gândim ce se întâmplă cu o bilă aflată pe o pantă lină. Dacă așezăm bila la jumătatea pantei, se va rostogoli întotdeauna în jos. Dacă nu vedem cum a ajuns bila pe pantă, ne putem aștepta ca ea să se rostogolească fie în sus (corespunzând unui univers în expansiune), fie în jos (un univers în colapsare), dar în nici un caz nu ne putem aștepta ca ea să rămână nemișcată. Evident, ca să se rostogolească în sus, ea trebuie să fi primit

un impuls inițial, dar curând va încetini și va începe să se rostogolească în jos. Să ne închipuim acum că la capătul de sus al pantei se află o suprafață orizontală. Dacă bila a primit un impuls inițial suficient de mare, ea poate ajunge la capătul de sus al pantei, iar odată ajunsă acolo va continua să se rostogolească la nesfârșit, fără să încetinească (ignor, desigur, frecarea și rezistența aerului, fiindcă o bilă reală se va opri în cele din urmă pe suprafața plată).

Presupunând că bila primește mereu aceeași viteză inițială la baza pantei, soarta ei este determinată de înălțimea la care se află capătul de sus. Dacă e prea mare, bila nu va mai putea ajunge la capăt, și se va rostogoli în jos.

În felul acesta putem privi expansiunea universului. Eficacitatea atracției gravitaționale depinde de cantitatea de materie din univers. Prin materie nu înțeleg doar toate stelele, planetele și alte obiecte solide, ci *întreaga* substanță din univers – praf, gaze, particule subatomice, ba chiar și energie pură. Așadar, dacă acum universul se contractă sau se extinde depinde de cantitatea de materie pe care o conține și de timpul de când atracția gravitațională a întregii materii acționează ca o frână asupra expansiunii inițiale. Acesta era în esență modelul de univers al lui Friedmann.

Nimeni, nici măcar Einstein, nu era pregătit să dea credit rezultatelor lui Friedmann, cel

puțin până la găsirea unei dovezi experimentale. A durat doar câțiva ani. Din păcate, Friedmann n-a apucat s-o vadă, a murit în 1925.

OBSERVAȚIILE LUI HUBBLE

Edwin Hubble era cât pe ce să devină boxer profesionist la categoria grea. A ales în schimb astronomia, iar acum cel mai celebru telescop îi poartă numele. Ce anume l-a făcut faimos? Mai întâi, a fost primul care a înțeles că galaxiile se află în afara Căii Lactee. Până atunci se credea că minusculele pete de lumină care puteau fi văzute prin telescop erau nori de praf, numiți nebuloase, din interiorul galaxiei noastre. Hubble a descoperit că ele se află la distanțe prea mari pentru a face parte din Calea Lactee, deci trebuiau să fie galaxii de sine stătătoare. El a descoperit de asemenea că aceste alte galaxii păreau să se îndepărteze de a noastră cu viteze proporționale cu distanța până la ele. Cu cât o galaxie era mai departe, cu atât părea să se îndepărteze mai repede de noi, iar asta se întâmpla indiferent în ce direcție îndrepta Hubble telescopul. Astfel, a demonstrat experimental că modelul universului în expansiune al lui Friedmann era corect. Einstein a fost obligat să accepte că includerea constantei cosmologice în ecuația sa fusese cea mai mare gafă din cariera lui științifică.

Hubble a raționat corect că, din moment ce universul e în expansiune, în trecut el trebuie să fi fost mult mai mic decât acum. Să ne închipuim că evoluția universului ar fi fost filmată dintr-un punct aflat cumva „în afara“ universului – ceea ce, evident, e imposibil, odată ce, prin definiție, tot spațiul se află în interiorul universului. Derulând filmul înapoi, ai vedea universul contractându-se. Dacă te-ai întoarce suficient de mult în trecut, ai ajunge la un moment în care toate galaxiile s-ar suprapune unele pe altele și obiectele s-ar aglomera. Dacă te-ai întoarce și mai mult în timp, întreaga materie ar fi tot mai înghesuită și mai comprimată, până ai ajunge la momentul nașterii universului, big bang-ul.[16]

Hubble a făcut această descoperire măsurând ceea ce se numește *deplasarea cosmologică spre roșu* a luminii. Pentru a înțelege ce înseamnă, să considerăm un fenomen mai cunoscut, *deplasarea Doppler*, adică modificarea înălțimii sunetului pe care o percepi când o ambulanță trece pe lângă tine. Efectul se explică prin diferența dintre frecvențele undelor sonore care ajung la tine de la ambulanță în două situații: ambulanța se apropie sau se îndepărtează de tine. Când se apropie, undele sonore sunt înghesuite, iar frecvența (înălțimea) sunetului crește; când se îndepărtează, undele sunt întinse, iar frecvența sunetului scade.

La fel se întâmplă și cu lumina. Când un obiect – de pildă, o galaxie aflată la mare distanță – se îndepărtează de noi, undele luminoase provenind de la el sunt întinse, iar frecvența luminii scade. În loc de frecvență, vorbim de regulă despre lungimea de undă – vă amintiți pesemne din școală de ea, este distanța dintre două creste consecutive ale undei. Așadar, o scădere a frecvenței luminii se leagă de o întindere a lungimii de undă.

Odată ce avem toate motivele să credem că o galaxie îndepărtată conține stele asemănătoare celor din Galaxia noastră, și știm ce lungimi de undă trebuie să aibă lumina – procesele nucleare din interiorul tuturor stelelor le fac să emită lumină cu anumite lungimi de undă –, atunci, măsurând modificarea lungimilor de undă, putem calcula cât de repede se îndepărtează de noi acea galaxie. Desigur, astronomii se vor grăbi să spună că nu-i așa simplu, dar principiul de bază e corect. Voi reveni mai târziu la unele subtilități ale măsurării ritmului de expansiune.

Efectul se numește deplasare *spre roșu* pentru că lungimile de undă sunt întinse când galaxia se îndepărtează, iar lungimile de undă mai mari ale luminii vizibile sunt asociate cu o culoare care se apropie de roșu. Deși, strict vorbind, se aplică doar luminii vizibile, termenul *deplasare spre roșu* e folosit pentru întregul spectru electromagnetic.

Trebuie mai întâi să ne gândim dacă această înroșire a luminii provenind de la galaxii îndepărtate observată de Hubble nu poate fi cumva interpretată și altfel. Astronomii s-au străduit s-o facă, pentru că inițial nu voiau să creadă că universul se extinde într-adevăr. O posibilitate ar fi ca lumina să piardă energie în drumul ei de la sursă la telescoapele noastre, fiindcă și o scădere a energiei ar face ca lungimea de undă să crească. Lumina ar putea pierde energie doar dacă lumina ar trece prin praf și gaz interstelar în lunga ei călătorie prin spațiu. Explicația asta întâmpina însă o dificultate fatală. Lumina pierde energie ciocnindu-se de atomii de materie în drumul ei, deci ar trebui să se deplaseze pe o traiectorie în zigzag, ceea ce ar face ca imaginea galaxiei să fie încețoșată. Cum nu s-a observat nici o încețoșare a imaginilor galaxiilor, această explicație a fost exclusă. Rămânea doar explicația că deplasarea Doppler se datorează expansiunii universului. Câțiva fizicieni, între care un profesor al meu care mi-a predat relativitatea, au susținut că deplasarea spre roșu poate fi explicată prin ceva numit *deplasare Doppler transversală* – o deplasare Doppler observată la lumina provenind de la obiecte care trec în mare viteză de-a lungul câmpului nostru vizual, dar nu se îndepărtează de noi. E corect, însă voi arăta că deplasarea spre roșu nu e singura dovadă în favoarea expansiunii.

SPAȚIUL SE ÎNTINDE

Să cercetăm mai atent semnificația descoperirii lui Hubble. Cum e posibil ca toate galaxiile să se îndepărteze de *a noastră*? Asta înseamnă că ocupăm o poziție privilegiată în univers, că ne aflăm chiar în centrul lui. Dacă galaxiile de jur-împrejurul nostru aflate la aceeași distanță de noi se îndepărtează cu aceeași viteză, atunci am putea deduce că noi nu ne mișcăm deloc. E ca și cum întreaga materie din univers și-ar avea originea în locul unde ne aflăm.

S-ar putea ca planeta noastră să fie unică, în sensul că e singura din univers pe care a apărut viața, deși e puțin probabil dată fiind dimensiunea colosală a universului. Fără îndoială însă, n-avem nici un motiv să credem că ocupăm un loc privilegiat în univers. De fapt, o idee importantă în cosmologie, numită *principiu cosmologic*, afirmă că nu există nici un loc privilegiat în univers, că la scara cea mai mare universul arată pretutindeni la fel. Atunci, de ce pare că totul se îndepărtează de *noi*?

Răspunsul e dezarmant de simplu. Nu galaxiile fug prin spațiu de a noastră, ci *spațiul dintre noi și ele se întinde*. Închipuiți-vă o foaie mare de cauciuc pe care ați desenat o rețea pătrată, și marcați semne la distanțe egale între ele (figura 3.1). Dacă foaia e întinsă egal în toate direcțiile, distanța dintre oricare două

semne va crește. Fiecare semn ar vedea că cele din jurul lui se îndepărtează, iar nici un semn nu ar fi privilegiat în raport cu oricare altul. Desigur, presupun că foaia e foarte mare, altminteri lucrul n-ar fi valabil pentru semnele aflate la margine.

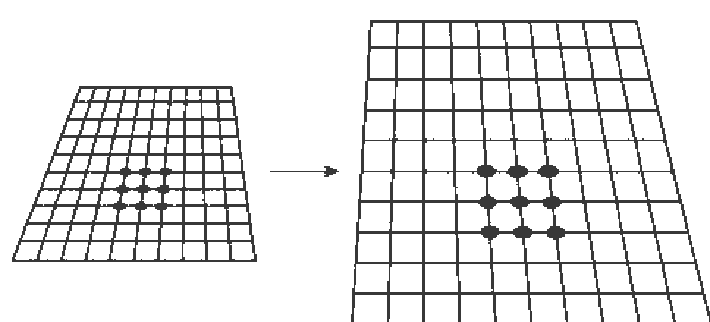


Figura 3.1 Foaia de cauciuc a spațiului în expansiune. Imaginați-vă galaxiile 2-D aflate la distanțe egale pe o rețea. Când foaia se extinde, fiecare galaxie va vedea că galaxiile din jur se îndepărtează de ea.

De fiecare dată când prezint publicului subiectul ăsta, se găsește cineva isteț care să-mi pună întrebarea: dacă spațiul se extinde, și totul e încorporat în spațiu, atunci totul ar trebui să se extindă, inclusiv noi și toate echipamentele noastre de măsurare de pe Pământ. Dacă distanța dintre Galaxia noastră și o alta se dublează într-o anumită perioadă, atunci distanța dintre toți atomii din corpurile noastre, din rulete și din rigle se va dubla și ea. Așadar, cum am putea „observa“ expansiunea?

Odată ce-a pus întrebarea, persoana se întoarce spre restul publicului cu un aer triumfător, ca și cum ar spune „Ia să vedem pe unde scoate cămașa!“.

Răspunsul e însă surprinzător de simplu. Amintiți-vă că gravitația acționează pentru a încetini expansiunea spațiului, iar dacă ar fi suficient de puternică ar învinge complet expansiunea. La nivelul întregului univers, rata expansiunii e mare, iar densitatea materiei foarte scăzută. La nivelul Galaxiei noastre însă, spațiul din ea nu va fi afectat, fiindcă gravitația e suficient de puternică la această scară pentru a nu permite expansiunea. La nivelul oamenilor și al instrumentelor de măsură, materia e strâns împachetată, iar atomii și toate lucrurile alcătuite din atomi sunt menținute laolaltă de o forță mult mai puternică decât gravitația – forța electromagnetică, ea ține atomii legați. La acest nivel, spațiul nu se extinde, după cum nici noi nu ne extindem, nici tot ce se află pe Pământ, toate rămân la aceeași mărime.

E momentul să dăm un exemplu din viața de zi cu zi (puteți sări peste acest paragraf, dacă cel precedent v-a convins deja). Gândiți-vă la bulele de aer care apar pe fundul unui acvariu. Ele sunt la început mici, pentru că presiunea apei pe fundul acvariului e mare și comprimă aerul din bulă. Când bula se ridică, presiunea scade, iar bula se extinde din cauza presiunii orientate spre exterior a moleculelor de aer din

interiorul ei. Cum numărul moleculelor din interiorul fiecărei bule nu se schimbă, distanțele dintre ele cresc când bula se dilată. Dar, și aici e aspectul esențial, nu trebuie să ne așteptăm ca dimensiunea fiecărei molecule de aer să crească odată cu dilatarea bulei.

E interesant de remarcat că galaxia cea mai apropiată de a noastră, Andromeda (sau M31, pentru a-i da denumirea astronomică), se deplasează de fapt spre noi. Andromeda se află la o distanță de două miliarde de ani-lumină și, conform estimărilor actuale privind rata de expansiune a universului, ar trebui să se îndepărteze de noi cu 50 km/s. În schimb, se apropie de noi cu 300 km/s. Prin urmare, expansiunea universului nu se manifestă la scara Grupului Local de galaxii, și cu atât mai puțin la cea a Pământului.

Dar stai o clipă, ați putea spune, nu cumva Hubble s-a înșelat? Păi, n-a observat el că *toate* galaxiile se îndepărtează de a noastră? Răspunsul e că galaxiile nu sunt uniform distribuite, cu distanțe egale între ele în tot universul. Hubble a observat galaxiile de la distanțe foarte mari, care într-adevăr se îndepărtează de noi, nu pe cele apropiate.

Viteza cu care se apropie Galaxia noastră de Andromeda e echivalentă cu înconjurul Pământului în două minute sau cu parcurgerea distanței Pământ-Soare în mai puțin de o săptămână. Dar înainte ca Hollywoodul să se

hotărască să facă un film cu niște tipi curajoși care salvează Pământul de ciocnirea iminentă cu Andromeda, trebuie să vă spun că, în ritmul actual, vor trece câteva miliarde de ani până ca cele două galaxii să se contopească. Chiar și atunci când se va întâmpla, e foarte puțin probabil ca ceva să lovească Pământul, fiindcă, așa cum am văzut, distanțele dintre stele sunt mari, iar riscul ca o stea să pătrundă în sistemul nostru solar e infim. Fizicienii pot crea simulări sofisticate pe calculator pentru a studia dinamic comportamentul a două galaxii când se contopesc.

Cum rămâne deci cu forța antigravitațională a lui Einstein, constanta lui cosmologică introdusă în ecuații pentru a împiedica universul să se prăbușească sub propria-i greutate? Descoperirile lui Friedmann și Hubble au aruncat-o oare definitiv la coșul de gunoi?

Pe măsură ce domeniul cosmologiei a evoluat și s-a maturizat în cursul secolului XX, constanta cosmologică s-a dovedit destul de rezistentă, a revenit de mai multe ori în atenție. O vreme, cosmologii au hotărât că n-ar trebui eliminată din ecuațiile lui Einstein, poate ar trebui să i se atribuie o valoare foarte mică, pentru a nu intra în contradicție cu observațiile lui Hubble. Amintiți-vă că vorbesc aici despre un model matematic abstract al universului prezis prin rezolvarea ecuațiilor lui Einstein. Făcând să varieze valoarea constantei

cosmologice, cosmologii puteau studia proprietățile prezise de diferitele modele de univers.

Au fost calculate limite superioare ale valorii constantei, iar ele au fost atât de mici, încât majoritatea cosmologilor s-au gândit că putea fi pur și simplu eliminată din ecuații, așa cum făcuse Einstein. Pe rând, au apărut și au dispărut alte motive pentru păstrarea constantei cosmologice. Astăzi însă, avem un motiv întemeiat să credem că *nu* este zero, și că Einstein n-a săvârșit o gafă introducând-o în ecuațiile lui. Să cercetăm mai întâi dovezile în favoarea big bang-ului. La urma urmei, dacă universul se dilată, trebuie să fi existat un moment al creației, după care a început să se extindă.

A AVUT OARE LOC CU ADEVĂRAT BIG BANG-UL?

Suntem acum îndreptățiți să credem că universul nostru s-a născut cu vreo 13,7 miliarde de ani în urmă într-o stare cu temperatură și densitate extrem de ridicate. Ce dovezi avem? Subdomeniul cosmologiei dedicat studiului nașterii universului se numește *cosmogonie*, și este unul dintre cele mai pasionante din fizică. Cea mai convingătoare dovadă că universul a apărut printr-un big bang e dată, desigur, de observația că se extinde.

După cum am arătat mai sus, dacă universul se dilată, toate galaxiile fugind unele de altele, atunci la un moment din trecut întreaga materie trebuie să fi fost înghesuită laolaltă.

În afară de expansiunea universului, modelul big bang e susținut de alte două observații cruciale. Prima se referă la abundențele elementelor ușoare. Faptul că aproximativ trei sferturi din atomii din univers sunt atomi de hidrogen, iar un sfert atomi de heliu, elementele cele mai ușoare și cel mai simplu de format, celelalte elemente fiind prezente doar în cantități minuscule, presupune ca la început universul să fi fost fierbinte și dens, răcindu-se și extinzându-se apoi rapid. La momentul big bang-ului, cu mult înainte ca stelele și galaxiile să se poată forma, întreaga materie din univers era concentrată și nu exista spațiu gol. Imediat după big bang (la mult mai puțin de o secundă) au început să se formeze particulele subatomice, iar pe măsură ce universul se extindea și începea să se răcească, aceste particule s-au putut lipi unele de altele pentru a alcătui atomi. Condițiile de temperatură și presiune trebuiau să fie exact cele potrivite pentru formarea atomilor. Dacă temperaturile ar fi fost prea ridicate, atomii n-ar fi rămas intacți, ar fi fost spulberați în șuvoiul agitat de radiație și particule cu viteze mari. Pe de altă parte, odată ce universul s-ar fi extins puțin, temperatura și presiunea ar fi devenit prea scăzute pentru a permite atomilor

de hidrogen și heliu să se apropie între ei suficient de mult pentru a forma alte elemente (mai grele). De aceea la începutul universului s-au format în principal hidrogenul și heliul, proces care trebuie să fi avut loc în primele cinci minute după big bang. Aproape toate celelalte elemente au trebuit să aștepte până să fie preparate în interiorul stelelor. Modelul big bang prezice corect proporțiile de hidrogen și heliu observate de astronomi.

Cealaltă dovadă în sprijinul big bang-ului, care, la fel ca expansiunea universului, a fost prezisă teoretic înainte să fie observată experimental, este *radiația cosmică de fond*. E vorba de „strălucirea remanentă“ în urma exploziei de la big bang, sub forma unei radiații de microunde care cuprinde întregul spațiu și are azi o temperatură de circa trei grade deasupra lui zero absolut (–273≤C). Pentru a măsura experimental temperatura acestei radiații nu trebuie să înfigem un termometru în spațiu, ci folosim radiotelescoape atât de sensibile încât „aud“ semnalul slab al radiației provenind din spațiul îndepărtat. Asta s-a întâmplat pentru prima dată în 1960, iar apoi confirmările s-au succedat, pe măsura creșterii sensibilității radiotelescoapelor. Dacă vi se pare greu de crezut, aflați că și eu am fost impresionat când cineva mi-a spus recent că

putem auzi chiar și „fâșâitul“ slab al undelor radio emise de planeta Jupiter, folosind un aparat de radio pentru unde scurte.

Astăzi nu prea ne îndoim că big bang-ul a avut într-adevăr loc, dar rămân alte probleme de rezolvat. Unele dintre ele au fost lămurite chiar în vreme ce scriam cartea de față. De pildă, cu câțiva ani în urmă nu știam dacă gravitația va opri la un moment dat expansiunea universului și-l va face să se prăbușească în el însuși, întreaga materie colapsând în cele din urmă într-o implozie catastrofală numită *big crunch*, sau dacă expansiunea va continua veșnic, universul devenind tot mai rece și sfârșind în ceea ce se numește moarte termică sau *big freeze* (marele îngheț). Astăzi, credem că am găsit răspunsul. Se dovedește că soarta universului depinde nu doar de cantitatea de materie pe care o conține, ci și de constanta cosmologică a lui Einstein. Asta complică mai mult decât speram cosmologia. Voi înainta așadar cu precauție prin aceste teme fundamentale, începând cu forma universului.

MARGINEA SPAȚIULUI

Gândiți-vă la următoarele două întrebări:

1) Dacă universul se extinde, dar în același timp conține întregul spațiu, în ce anume se extinde el?

2) Ce se află dincolo de marginea universului?

Ne închipuim că trebuie să existe ceva dincolo de universul nostru, care îl poate conține când universul se extinde. Asemenea întrebări nu sunt doar filozofice sau metafizice, știința are un răspuns la ambele. De fapt, nu ne punem problema cum trebuie, iar aici se va dovedi rostul celor aflate în capitolul 2 despre geometria într-un număr mai mare de dimensiuni. Ne-am putea închipui în mod naiv big bang-ul ca pe o explozie *petrecută* într-un anumit punct din spațiul tridimensional. Din acest punct, întreaga materie a fost azvârlită, și de atunci zboară în toate direcțiile. Greșit!

Întâi de toate, am aflat că big bang-ul n-a fost ca o explozie a unei supernove, întreaga materie îndepărtându-se în viteză de un punct central. Expansiunea universului e întinderea spațiului însuși, cu materia conținută în spațiu transportată de el. Apoi, nu există vreun punct din univers către care să poată călători exploratorii spațiali pentru a înfige în el un steag pe care să scrie „Aici a avut loc big bang-ul". Amintiți-vă exemplul cu întinderea foii de cauciuc. Big bang-ul s-a petrecut în același timp pretutindeni pe foaie, iar întinderea a avut loc pe întreaga foaie.

Nu mă aștept să vă mulțumească explicația mea, dar aveți răbdare preț de câteva pagini, știu că n-am răspuns încă la cele două întrebări. Vă

propun să le abordăm frontal. Închipuiți-vă că ați zbura cu o rachetă la viteză foarte mare și ați merge tot înainte în linie dreaptă – să zicem că sunteți nemuritori, iar racheta are o rezervă de combustibil nelimitată. Ați ajunge oare într-un punct dincolo de care n-ați mai putea înainta? Există vreo barieră dincolo de care se află nimicul absolut?

Conform modelului de univers al lui Friedmann bazat pe relativitatea generală (care credem că descrie corect trăsăturile generale ale universului), răspunsul este nu, universul nu are o margine. Nu există vreo frontieră fizică de care s-ar lovi în cele din urmă racheta voastră când spațiul se termină. Nici n-ați ajunge într-un punct dincolo de care nu mai e nimic. Dacă acest abis ar putea fi definit ca spațiu, atunci ar fi tot o parte a universului, indiferent dacă conține sau nu materie. Ați continua așadar să călătoriți fără să părăsiți universul, pur și simplu ați intra într-o regiune a lui vidă.

Friedmann a găsit de fapt două tipuri posibile de univers. Dacă există suficientă materie pentru ca la un moment dat gravitația să oprească expansiunea și să determine colapsarea universului (corespunzând bilei care se rostogolește înapoi pe o pantă abruptă), atunci avem de-a face cu un *univers închis*. Dacă însă nu există suficientă materie pentru a opri expansiunea, atunci trăim într-un univers *deschis*.[17]

Atenție, în modelul său, Friedmann face o presupunere importantă: constanta cosmologică a lui Einstein e zero. Asta înseamnă că nu există o forță antigravitațională care să acționeze pentru a complica lucrurile, deși ea e răspunzătoare pentru declanșarea de la bun început a exploziei. Discuția care urmează e așadar simplificată (mă rog, în comparație cu felul în care arată probabil universul), și ia în considerare cazul în care constanta cosmologică e zero.

UN UNIVERS ÎNCHIS

Pentru a vizualiza un univers închis, trebuie să ne întoarcem la exemplul din capitolul 2 cu 2-Deii trăind pe o suprafață sferică. Universul lor e de asemenea închis, și nu e infinit, odată ce suprafața are o anumită arie. Spunem că o sferă are curbură pozitivă, fiindcă dacă te deplasezi pe suprafață de-a lungul a două drumuri perpendiculare între ele, ambele se curbează în jurul aceleiași direcții. Evident, un asemenea univers închis n-are o margine, căci 2-Deii pot călători oriunde vor pe suprafață fără să ajungă la o margine. De fapt, dacă un 2-Deu s-ar urca într-o rachetă și ar călători în ceea ce lui i se pare a fi o linie dreaptă, s-ar întoarce de unde a plecat. Și noi ne-am întoarce de unde am plecat, dacă am trăi într-un univers închis, cu o curbură pozitivă.

Amintiți-vă că, pentru 2-Dei, interiorul (și exteriorul) sferei nici măcar nu există, e în afara celor două dimensiuni ale lor. Dacă universul nostru e închis, atunci cea mai simplă formă pe care o poate avea e suprafața unei mingi cvadridimensionale, numită hipersferă. E echivalentul suprafeței 2-Deilor, o minge în trei dimensiuni, cu deosebirea că avem o dimensiune în plus și e imposibil s-o vizualizăm. Se cuvine deci să ne gândim mai atent la universul 2-Deilor, fiindcă așa ar arăta universul nostru dacă am elimina una dintre dimensiunile spațiului.

Exemplul acesta e modul standard de a explica noțiunea de big bang. Să ne închipuim că universul 2-Deilor e suprafața unui balon care se umflă. Expansiunea acestui univers este acum exact aceeași ca expansiunea foii plate de cauciuc despre care am vorbit mai sus. Fiecare punct de pe suprafața balonului se va îndepărta de toate celelalte puncte. Este deci limpede că big bang-ul nu are loc *undeva* pe suprafața balonului. E mai corect să ni-l închipuim în centrul balonului, odată ce nu numai că fiecare punct de pe suprafață se îndepărtează de toate celelalte, dar și toate punctele se îndepărtează de centrul balonului. Însă și această imagine e înșelătoare, fiindcă nici măcar nu-i nevoie să existe interiorul balonului. Am folosit analogia cu un balon, care e un obiect 3-D, pentru a putea reprezenta suprafața lui 2-D. Credeți

pesemne că n-are sens să vorbim despre o sferă fără să ne imaginăm că ea conține un volum interior, dar ăsta e doar un mod prin care o putem vizualiza. Un univers 2-D închis poate exista *fără* să fie conținut într-un spațiu 3-D, iar noi am spune că big bang-ul a avut loc simultan pretutindeni pe suprafață; din moment ce, oricum, întreaga suprafață a fost concentrată într-un punct, n-avem nevoie să precizăm unde anume se afla acel punct în spațiul tridimensional. E vorba doar de o modalitate prin care creierul nostru poate vizualiza lucrurile.

Pentru a recapitula, dacă universul conține suficientă materie, într-o bună zi expansiunea lui se va opri și va începe să colapseze. Ar fi un univers finit, închis, cu o curbură pozitivă și fără margine, așa cum suprafața unei sfere n-are margine. Ne poate fi de ajutor să ne închipuim că se extinde într-o dimensiune suplimentară, dar n-am face-o decât din comoditate, iar dimensiunea suplimentară nu-i nevoie să existe în realitate. Cât privește localizarea big bang-ului, putem spune să s-a petrecut pretutindeni simultan, odată ce întreg universul ar fi crescut dintr-un punct, iar totul va fi fost confinat în același loc. Nu știm dacă acel punct plutea într-un spațiu cu mai multe dimensiuni.

UN UNIVERS DESCHIS

Spunem că un univers e deschis dacă nu conține suficientă materie pentru a-i opri expansiunea.[18] În acest caz, lucrurile sunt ceva mai greu de vizualizat. Odată ce un asemenea univers nu e închis în el însuși, singurul mod de a evita existența unei margini este să fie infinit.[19] Forma cea mai simplă pe care o poate lua un asemenea univers este suprafața plată, analogul tridimensional al foii de cauciuc care se extinde la nesfârșit în toate direcțiile. Un univers complet lipsit de curbură ar fi însă un caz cu totul aparte. Ar fi ca exemplul bilei care se rostogolește în sus pe pantă și reușește să ajungă în vârf exact în momentul când viteza ei devine zero, nemaiavând energie să se rostogolească pe suprafața plată orizontală. Dacă nu se va rostogoli în jos, e mult mai probabil să-i rămână ceva energie pentru a se rostogoli mai departe pe platou. Un univers corespunzând acestui scenariu nu va fi plat, ci curbat. De data asta însă, spunem că are curbură negativă.

Eliminând așadar una dintre dimensiunile spațiului, putem înțelege diferitele tipuri de curburi pe care universul le-ar putea avea. Dacă un univers curbat pozitiv corespunde, în mai puține dimensiuni, suprafeței unei sfere, iar un univers plat corespunde unei foi bidimensionale, ce formă are o suprafață bidimensională curbată negativ? Nu-i așa simplu. Numele matematic al acestei forme este *hiperboloid cu o pânză*, o suprafață dificil de

vizualizat. În linii mari, seamănă cu o șa (vezi figura 3.2). Diferența dintre curbura pozitivă a sferei și curbura negativă a șeii este că, dacă în primul caz două drumuri de pe suprafață perpendiculare între ele sunt curbate în aceeași direcție, pe o șa asemenea drumuri se curbează în direcții opuse.

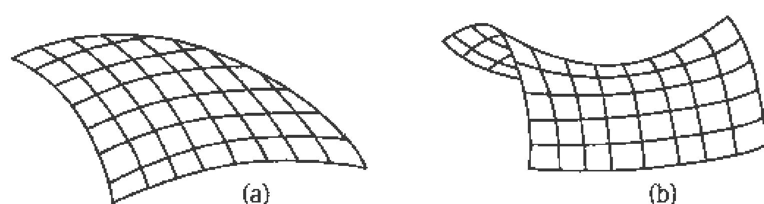


Figura 3.2 Spațiu 2-D curbat (a) pozitiv și (b) negativ.

Forma unui univers deschis e dificil de vizualizat chiar și eliminând o dimensiune, dar să vedem dacă reușim să înțelegem mai bine o altă caracteristică surprinzătoare a lui. Dacă universul e deschis și infinit, atunci în ce anume se extinde? Prin infinit înțeleg faptul că universul se extinde la nesfârșit în toate direcțiile. Pare imposibil să se extindă, odată ce întreg spațiul e epuizat și e inclus *în* univers. Din nou, vedem problema mai limpede în spațiul bidimensional. În cazul unui univers închis (suprafața balonului), ne putem imagina că expansiunea are loc spre exterior într-o dimensiune suplimentară, dar pentru o foaie plată având aria infinită expansiunea are loc în

planul foii, nu putem apela la o a treia dimensiune (în afara foii) ca direcție în care are loc expansiunea.

Pentru a rezolva problema trebuie să dau câteva explicații matematice. Nu-i simplu să ai de-a face cu infinitul. Când eram copil mi s-a spus că după ce murim ajungem în rai, unde rămânem pe vecie. Asta m-a deprimat, fiindcă mi-era greu să mă gândesc la ceva care continuă la nesfârșit, oricât de plăcut ar fi. În ciuda dificultății de care ne izbim cei mai mulți dintre noi când medităm asupra infinitului, unii matematicieni și-au dedicat viața cercetării lui. De fapt, există chiar mai multe feluri de infinit.

Gândiți-vă la șirul numerelor naturale 1, 2, 3, 4… care continuă la nesfârșit. Spunem că numărul lor e infinit. Ce putem spune însă despre șirul numerelor pare 2, 4, 6, 8…? Evident, și acest șir e infinit de lung. Din moment ce există în total de două ori mai multe numere naturale decât pare, avem doi infiniți, unul părând să fie de două ori mai mare decât celălalt. Ce putem spune despre numărul tuturor numerelor, nu numai al celor naturale? De pildă, să considerăm numerele

0, 0,1, 0,2, 0,3… 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3…

și așa mai departe până la infinit. Acest șir infinit conține zece termeni pentru fiecare termen din șirul numerelor naturale. Infinitul termenilor din acest șir e oare de zece ori mai

mare decât infinitul numerelor naturale? În matematică există un întreg domeniu care se ocupă de studiul infinitului. Se dovedește că toate cele trei șiruri de mai sus aparțin aceleiaşi clase de infiniți. Există însă și alte clase. Să considerăm șirul tuturor numerelor (numerele reale), care includ toate numerele aflate între numerele naturale. Chiar și intervalul dintre două numere naturale, cum sunt 0 și 1, va conține o infinitate de numere (0… 0,00103… 0,36252… 0,9997… 1), fiindcă ne putem mereu gândi la un nou număr zecimal, oricât de multe zecimale ar avea. La fel, vor exista o infinitate de numere zecimale între 1 și 2… între 763 și 764 și așa mai departe. Avem deci o mulțime conținând o infinitate de numere naturale și o infinitate de numere zecimale aflate între fiecare două numere naturale consecutive. Acest infinit total e mult mai „puternic“ decât infinitul numerelor naturale, deși ambii sunt nesfârșiți. De fapt, se dovedește că există un număr infinit de tipuri de infiniți.

Unde ne duc toate astea? Cosmologul Igor Novikov, considerat de mulți drept replica Rusiei la Stephen Hawking, apelează la ideea de infiniți diferiți pentru a explica faptul că un univers infinit se poate totuși extinde. Imaginează-ți că vii la Hotelul Infinit, care are un număr infinit de camere. (Am stat în câteva hoteluri care se apropie de asta, și m-am rătăcit în ele.) Ți se spune la recepție că au sosit deja o

infinitate de oaspeți, iar toate camerele sunt ocupate. Te duci să te plângi la conducerea hotelului, spui că ai făcut o rezervare și insiști să ți se găsească o cameră pentru la noapte. „Nici o problemă“, spune directorul, „la Hotelul Infinit e mereu loc“. Se apucă apoi să mute persoana de la camera 1 în camera 2, persoana din camera 2 în camera 3, și așa mai departe, până la infinit. Ți se dă camera 1.

Ce se întâmplă însă dacă un număr infinit de oaspeți sosește deodată? Iarăși nici o problemă (nu vă gândiți la coada infinit de lungă de la recepție). Conducerea hotelului mută acum persoana din camera 1 în camera 2, persoana din camera 2 în camera 4, persoana din camera 3 în camera 6, 4 în 8, și așa mai departe, până când toți oaspeții sunt mutați. Acum toate camerele cu număr par sunt ocupate. Cum numărul camerelor e infinit, toți oaspeții inițiali sunt cazați, și există o infinitate de camere libere, cu număr impar, pentru nou-veniți.

Putem lega exemplul Hotelului Infinit la care sosesc oaspeți de spațiul ocupat de un univers infinit. Nu contează că mereu sosesc noi oaspeți – fiind infinit, hotelul îi poate mereu caza. La fel, un spațiu infinit se poate extinde mereu.

Ajungem astfel pesemne la cea mai derutantă caracteristică a unui univers infinit. Dacă ceva crește, atunci, prin definiție, durează o eternitate până devine infinit. Așadar, dacă universul nostru e infinit astăzi, el trebuie să fi fost infinit

și în trecut. De fapt, trebuie să fi fost infinit deja la momentul big bang-ului! Asta contrazice ideea că big bang-ul a fost un eveniment care a avut loc pe când întreg spațiul se reducea la un punct de dimensiune zero. Ideea poate fi măcar vizualizată în cazul unui univers închis eliminând o dimensiune și considerând exemplul balonului. Un univers deschis însă n-a fost *niciodată* de mărime zero. Singurul mod de a concepe asta e să ne închipuim că big bang-ul a avut loc pretutindeni simultan într-un univers deja infinit. Desigur, în fiecare punct dintr-un asemenea univers infinit densitatea trebuie să fi fost și ea infinită.

Ne-am putea imagina big bang-ul într-un univers deschis ca pe o linie infinit de lungă. Deși pe ea se află un număr infinit de puncte (odată ce un punct are mărimea zero), volumul ei e zero. Atunci, universul nostru vizibil a crescut dintr-un singur punct (un big bang) de pe linie, dar n-aș împinge prea departe această analogie.

În fine, ca să mă asigur că sunteți complet derutați, indiferent ce formă are universul acum, chiar dacă e aproape perfect plat, trebuie să fi fost *infinit curbat* la big bang!

CE FORMĂ ARE DECI UNIVERSUL?

Acum, că v-am dat o idee despre diferitele forme pe care universul nostru le-ar putea avea

(și multe dureri de cap), voi trece în revistă pe scurt unele descoperiri și idei recente din cosmologie, precum și ce ne spun ele despre univers. La urma urmei, dacă universul va colapsa într-o bună zi într-un big crunch, cred că publicul are dreptul s-o știe. Deși s-ar putea ca asta să se petreacă peste un catralion de ani, unii oameni vor dormi pesemne mai bine dacă sunt informați.

După cum am arătat deja, faptul că universul e deschis, închis sau plat depinde de cantitatea de materie pe care o conține. Dacă universul e infinit, ne confruntăm cu o dificultate, fiindcă înseamnă că are și o cantitate infinită de materie, oricât de rarefiată ar fi. Afirmația se justifică pe baza *principiului cosmologic*, care afirmă că fiecare parte a universului seamănă cu toate celelalte, deci, la scara cea mai mare, densitatea de materie e aproximativ constantă. E ca și cum ai spune că deși doar o cameră la o mie din Hotelul Infinit e ocupată, există totuși un număr infinit de oaspeți. Așadar, în loc să vorbească despre cantitatea totală de materie din univers, fizicienii vorbesc despre densitatea materiei – cantitatea de materie pe unitatea de volum din spațiu, care ar trebui să fie un număr rezonabil, chiar dacă volumul e infinit.

Dacă densitatea materiei din univers depășește o valoare critică, gravitația întregii materii va putea opri expansiunea și va face ca universul să colapseze. Dacă însă densitatea e

mai mică decât această valoare critică, gravitația doar va încetini expansiunea, fără s-o poată vreodată opri. Universul ar fi condamnat la expansiune eternă. Ciudat lucru, mulți cosmologi au motive întemeiate să creadă că densitatea trebuie să aibă exact această valoare critică, echilibrată pe muchie de cuțit între un univers care într-o bună zi va colapsa și unul care se va extinde pe veci. Densitatea materiei ar face deci ca gravitația să încetinească treptat ritmul expansiunii, fără s-o oprească însă. Asta corespunde unui univers plat, nici deschis, nici închis. Cum au ajuns oare cosmologii să creadă într-un asemenea scenariu improbabil, și de ce ar vrea ei ca lucrurile să stea așa?

Fapt este că, atât cât pot vedea telescoapele noastre, universul arată absolut plat. Nu pare să aibă nici curbură pozitivă, nici curbură negativă. Era o problemă pentru cosmologi, fiindcă e greu de crezut ca densitatea materiei să aibă exact valoarea potrivită pentru a menține spațiul plat. Dacă așa stau lucrurile, gravitația acționează mereu ca o frână a expansiunii, fără s-o oprească însă vreodată complet. Cazul acesta se deosebește de cel al unui univers deschis curbat negativ (cu o densitate mai mică decât valoarea critică) prin faptul că gravitația încetinește expansiunea până ce se stabilizează pentru totdeauna la un ritm constant.

V-ați putea gândi că universul nu poate fi plat, din moment ce conține materie și energie,

care îl vor curba întotdeauna. Aspectul subtil aici este că în realitate trebuie să vorbim despre materia și energia care curbează spațiul-timp, nu doar spațiul. Așadar, deși spațiul-timp ar fi fără îndoială curbat, spațiul propriu-zis ar putea rămâne perfect plat.

Majoritatea cosmologilor cred că problema planeității a fost rezolvată, împreună cu altele, luând în considerare ceva numit *inflație*. Planeitatea spațiului pe care o observăm s-ar explica simplu dacă universul ar fi mult mai mare decât ne închipuim. În mod asemănător, nu observăm curbura Pământului fiindcă vedem doar o mică parte din suprafața lui. Problema cu această explicație este că universul nu pare să fie suficient de bătrân pentru a se fi extins la o asemenea dimensiune. Prin urmare, se crede că, la doar o fracțiune de secundă după nașterea lui, universul a trecut printr-o scurtă perioadă de expansiune rapidă, în care a devenit de un bilion de bilioane de bilioane de bilioane de ori mai mare decât fusese înainte. Acest număr incredibil de mare se scrie ca unu urmat de patruzeci și opt de zerouri. Universul putea deci să fi fost încolăcit înainte de perioada inflației. Apoi, în timpul cât ai clipi din ochi, a crescut atât de mult încât nu vom putea niciodată detecta vreo curbură, oricât de departe în spațiu am privi. Acest model inflaționar al universului impune așadar ca densitatea să fie foarte aproape de valoarea critică la care universul e

plat. În calcule, această densitate e notată cu litera grecească Omega (Ω). Dacă densitatea ia valoarea critică, corespunzând unui spațiu plat, spunem că Omega are valoarea unu. Dacă universul e curbat pozitiv și închis, Omega e mai mare decât unu, iar dacă e curbat negativ și deschis, Omega e mai mic decât unu.

Nu știm cu certitudine dacă această inflație rapidă a universului foarte tânăr a avut loc. Majoritatea cosmologilor cred că da, însă argumentele pro și contra sunt subtile și se bazează pe unele aspecte care n-au fost încă lămurite.

Poate fi măsurată direct densitatea materiei din univers? Cosmologii cred că o pot face bazându-se pe principiul cosmologic, care afirmă, vă reamintesc, că universul arată la fel pretutindeni. Altfel spus, densitatea materiei e pretutindeni aceeași ca în colțișorul nostru de univers. Desigur, prin „colțișor“ înțeleg partea de univers pe care o putem vedea. Așadar, ce anume constată ei? Se dovedește că densitatea materiei vizibile (numărul de galaxii într-un volum de spațiu dat) reprezintă aproximativ un procent din valoarea critică la care universul e plat. Avem deci o problemă! Unde se pot afla celelalte nouăzeci și nouă de procente?

MATERIA INVIZIBILĂ

O parte din masa lipsă a universului se crede că e alcătuită din ceva purtând misteriosul nume de *materie întunecată*. Se estimează că în spațiu ar fi de cinci ori mai multă materie decât vedem, iar asta nu fiindcă s-ar afla foarte departe sau ascunsă de alte obiecte, ci pur și simplu fiindcă e invizibilă. Vă puteți întreba cum pot fi oamenii de știință siguri în privința unor lucruri din spațiul îndepărtat pe care le *pot* vedea, ca să nu mai vorbim de materia invizibilă. Ei bine, răspunsul e iarăși surprinzător de simplu: galaxiile au o masă mult mai mare decât masa însumată a stelelor, planetelor, prafului și gazului lor interstelar (adică întreaga materie pe care o putem în principiu vedea). Ele trebuie deci să conțină – și să fi înconjurate de – un nor de materie invizibilă care se extinde dincolo de stelele vizibile în ceea ce se numește *halo galactic*.

Știu că „materie invizibilă“ sună forțat, dar asta nu înseamnă decât că trebuie să fie compusă din ceva care nu emite lumină sau, mai probabil, e alcătuit de particule de un tip nou care nu interacționează cu materia normală altfel decât prin forța gravitațională. Două dovezi foarte convingătoare ne obligă să ajungem la concluzia asta.

Stelele din galaxii se rotesc ca granulele de cafea nedizolvată de la suprafața cafelei din ceașcă atunci când ai încetat s-o amesteci cu lingurița. Dacă majoritatea masei unei galaxii e

concentrată în nucleul ei – așa cum e de așteptat, odată ce e regiunea cel mai dens populată cu stele –, atunci stelele de la periferie ar trebui să se rotească mult mai încet decât o fac în realitate. De fapt, ele se rotesc atât de repede încât, fără să existe ceva care să le mențină, ar ieși de pe orbită luându-și zborul în spațiu – așa cum ar face-o copiii dintr-un carusel care și-ar dezleaga lanțul. Îmi dau seama că analogia nu-i prea plăcută pentru copii, dar asta e situația. Comportamentul observat al acestor stele nu se poate explica decât prin existența unei atracții gravitaționale datorate unei forme invizibile de materie care le înconjoară și se extinde dincolo de ele. Trebuie să existe mult mai multă materie invizibilă decât întreaga materie vizibilă, sub toate formele ei.

Alt indiciu că galaxiile sunt mai masive decât par e dat de măsurarea directă a masei lor. Asta se face folosind ideea lui Einstein că gravitația unui obiect masiv curbează spațiul din jurul lui. Să ne amintim din capitolul precedent că relativitatea generală a fost pentru prima oară testată experimental prin observarea devierii luminii provenind de la o stea îndepărtată atunci când trecea suficient de aproape de câmpul gravitațional al Soarelui. La fel, o galaxie va devia lumina provenind de la o galaxie mai îndepărtată atunci când se află pe dreapta dintre steaua mai îndepărtată și noi. Valoarea curbării

luminii ne spune ce masă are galaxia mai apropiată. Și în acest caz găsim că galaxiile conțin mult mai multă materie decât materia vizibilă.

Recent, astronomii au descoperit dovada cea mai convingătoare, după părerea mea, privind existența materiei întunecate. Poate fi găsită pe Internet o imagine superbă a Roiului Glonțul (*Bullet Cluster*) creat prin ciocnirea a două roiuri de galaxii. Gazul interstelar fierbinte din cele două roiuri a fost încetinit de această ciocnire frontală, dar multe galaxii individuale (fiecare conținând miliarde de stele) au trecut prin regiunea de ciocnire fără să fie încetinite, la fel ca gloanțele. Astfel, cele două forme de materie vizibilă (galaxiile cu stelele lor și gazul) s-au separat. Cea mai mare parte a masei roiurilor se află în gazul interstelar, rămas încă în regiunea centrală a ciocnirii. Se observă că efectul de lentilă gravitațională din regiunile conținând doar galaxiile e mult prea puternic pentru a fi pus pe seama maselor însumate ale galaxiilor. Singura explicație este că și materia întunecată a ieșit teafără din ciocnire.

Până recent nu se cunoștea nimic despre compoziția materiei întunecate. S-a crezut la început că ar fi alcătuită în întregime din stele moarte și reci, găuri negre, planete, fragmente de rocă, plus orice alt material neluminos care ar pluti prin spațiu. Asemenea obiecte au fost numite MACHO (*massive astronomical*

compact halo objects – obiecte compacte și masive care produc halo). S-a dovedit însă că există o limită pentru cantitatea acestei materii, limită stabilită de proporția elementelor sintetizate imediat după big bang.

Problema rămâne însă: suntem acum siguri nu doar că materia întunecată există, dar și că cea mai mare parte a ei trebuie să fie alcătuită dintr-un nou tip de substanță pe care trebuie s-o descoperim.

Experimentatorii bănuiesc că o parte din ea e formată din particule elementare numite neutrini. Necazul cu aceste entități minuscule – prezise teoretic la începutul anilor 1930 și descoperite în laborator în 1956 – este că nu știm exact ce masă au. Ele trec prin materia solidă ca și cum aceasta nici n-ar exista. De fapt, miliarde de neutrini, produși în principal de Soare, străbat chiar în clipa de față corpul vostru fără să vă dați seama. Știm că neutrinii trebuie să aibă o masă infimă, care, grație abundenței lor, poate explica o parte din materia invizibilă a galaxiilor. Chiar și în spațiul îndepărtat se estimează că există în medie câteva sute de neutrini în volumul unui degetar.

Însă chiar dacă luăm în calcul toată materia normală din galaxii (vizibilă sau nu), plus toți neutrinii, tot nu putem explica întreaga masă pe care galaxiile par s-o aibă. Neutrinii ar alcătui ceea ce se numește „materie întunecată fierbinte“, fiindcă ei se deplasează cu viteze

foarte mari. Suntem acum convinși că trebuie să existe și „materie întunecată rece“, probabil sub forma unor particule grele care se mișcă mai lent. Mai multe laboratoare din lume se află în căutarea acestor noi particule. Favoritele mele sunt WIMP (*weakly interacting massive particles* – particule masive care interacționează slab), care ar putea contribui la masa universului de câteva ori mai mult decât întreaga materie vizibilă. Asemenea particule n-au fost văzute până acum – nici n-ar fi trebuit, odată ce sunt invizibile –, dar oamenii de știință pot deduce proprietățile lor, și au conceput experimente pentru a le detecta.

Așadar, estimările actuale pentru întreaga materie din univers (vizibilă și întunecată) dau aproximativ o treime din densitatea necesară ca Omega să fie egal cu unu, iar universul să fie plat. S-ar zice să nu mai există nimic altceva, și că Omega e mult mai mic decât unu. Cum se împacă asta cu teoria inflației, care impune ca universul să fie plat? Trebuie oare s-o modificăm, sau chiar s-o abandonăm complet?

1998 – UN AN EXCEPȚIONAL ÎN COSMOLOGIE

Să măsori expansiunea universului e o operațiune complicată. Nu se reduce la calculul vitezei cu care se îndepărtează de noi galaxiile, pe baza măsurării deplasării spre roșu a luminii

lor. Întâi de toate, e greu să cunoști cu precizie distanța până la ele. Pentru că se află atât de departe, ele tind în medie să fie galaxii mai tinere – lumina lor s-a „aprins“ cu milioane, chiar miliarde de ani în urmă –, iar galaxiile mai tinere sunt de regulă mai strălucitoare și lumina lor e mai albastră, fiindcă stelele lor sunt mai tinere. Pe de altă parte, distanța mare până la ele le face să fie mai palide. În plus, galaxiile au tot felul de forme și dimensiuni, și – cu toate că, studiind suficient de multe, putem obține o medie utilă – măsurarea deplasării spre roșu a unei întregi galaxii nu-i metoda cea mai bună de a deduce rata expansiunii.

Există o metodă mai sigură. Amintiți-vă din capitolul 3 că supernovele sunt mai strălucitoare decât restul galaxiilor lor. În particular, supernovele de tip Ia (rezultând din distrugerea completă a unei stele dintr-un sistem de stele binare, după ce a ajuns la masa critică absorbind materia partenerei) au toate o anumită strălucire sau luminozitate. În plus, ele se sting la un anumit timp după ce s-au aprins. Asta înseamnă că pot oferi standarde de încredere pentru măsurarea distanțelor. Recent, supernovele de tipul Ia au fost folosite pentru a determina rata expansiunii universului – fără îndoială, cel mai important rezultat astronomic din 1998.

Detectarea exploziei de supernovă a unei stele dintr-o galaxie îndepărtată e extrem de dificilă fiindcă e foarte palidă. Uimitor la aceste

descoperiri recente e faptul că supernovele foarte îndepărtate par să fie mai palide decât ar fi de așteptat conform distanței până la ele. O explicație ar putea fi aceea că spațiul e curbat negativ (hiperbolic), făcând ca obiectele îndepărtate să pară mai palide ca rezultat al felului în care se răspândește lumina lor într-un asemenea univers. Există însă și o altă explicație, mai probabilă și mult mai interesantă. Poate că aceste supernove sunt cu adevărat mai departe de noi decât credem, ceea ce ar însemna că se îndepărtează mai repede decât deducem din deplasarea lor spre roșu. Cu alte cuvinte, n-au o deplasare spre roșu suficient de mare. Cum lumina acestor supernove care ajunge la noi a fost emisă pe când universul era mult mai tânăr, deplasarea lor spre roșu mai mică decât era de așteptat este indiciul unei mai lente expansiuni în trecut. Îmi dau seama că ar trebui, poate, să citiți paragraful de două ori ca să urmăriți raționamentul, dar dacă observațiile sunt corecte, concluzia este că expansiunea universului nu e *încetinită*, ci *accelerată*. De fapt, așa s-a întâmplat în ultima jumătate din viața universului, în ultimele șapte miliarde de ani. În *primele* șapte miliarde de ani, gravitația a fost prea puternică, iar rata expansiunii declanșate de big bang și inflație a scăzut.

Acest lucru nu e cu putință decât dacă o forță antigravitațională controlează expansiunea, îndepărtând galaxiile între ele și întinzând

spațiul. În vreme ce, pe măsură ce distanțele dintre galaxii cresc, influența gravitației devine mai slabă, antigravitaţia devine mai puternică, accelerând astfel expansiunea. Peste miliarde de ani, toate galaxiile din universul vizibil aflat dincolo de vecinătatea noastră vor fi îndepărtate atât de mult de expansiunea spațiului, încât lumina lor nu va mai ajunge în Calea Lactee. Ființele din Galaxia noastră care vor fi trăind atunci vor privi un cer mai sărac și mai deprimant decât cel de azi.

Existența acestei stranii forțe nu-i decât expresia faptului că în realitate constanta cosmologică nu e zero. Dar de unde provine ea?

Răspunsul obișnuit este că se datorează unei forme noi, stranii, de energie răspândită în întregul spațiu. Această energie are efectul paradoxal de a determina expansiunea spațiului, și, în același timp, contribuie la închiderea universului în sine însuși. Ca urmare, ar oferi partea lipsă din Omega, care ar fi egal cu unu, ceea ce își doresc mulți fizicieni teoreticieni. De fapt, Omega ar putea fi chiar puțin mai mare decât unu, făcând ca universul să fie închis, deși se extinde pe veci. În felul acesta, raționamentul simplu bazat pe modelul lui Friedmann devine fals. Nu mai putem spune că un univers deschis se va extinde pe veci, în vreme ce un univers închis trebuie la un moment dat să colapseze într-un big crunch. Forma universului și densitatea lui nu mai sunt legate între ele.

Cât privește originea energiei spațiului gol, fizicienii încă nu s-au lămurit. Ar putea fi implicat unul dintre termenii din jargoneză (cu care v-ați putea impresiona prietenii), ca, de pildă, *fluctuații cuantice*, *tranziții de fază*, *defecte topologice* sau, cel mai frumos dintre toate, *chintesență*. De regulă însă, această energie poartă numele de *energie întunecată*.

Dovezile în favoarea energiei întunecate pot fi oare interpretate și altfel? Ei bine, da. Dacă spațiul se extinde neomogen, poate apărea iluzia energiei întunecate. Poate că universul arată ca un șvaițer – uniform în ansamblu, dar cu găuri –, ceea ce face ca rata de expansiune să varieze puțin de la un loc la altul. De fapt, ar trebui ca Galaxia noastră să se afle în centrul unui asemenea gol cosmic uriaș. Deocamdată însă, ideea nu pare promițătoare. Dar dacă ar fi corectă, ar explica energia întunecată fără strania antigravitație.

Altă posibilitate interesantă este pur și simplu ca relativitatea generală a lui Einstein să nu mai fie valabilă la scară foarte mare, și să fim nevoiți s-o modificăm pentru a explica de ce universul se extinde în felul acesta.

Trebuie să subliniez că după 1998 au fost efectuate noi măsurători și mai precise, iar toate au stabilit că universul se extinde într-adevăr accelerat.

ESTE UNIVERSUL INFINIT?

Iată încă un subiect amuzant despre care puteți discuta cu familia și prietenii. Dacă se dovedește că densitatea totală a universului, datorată întregii materii și energii vizibile și invizibile, nu e încă suficient de mare pentru ca universul să fie închis, se crede în genere că el trebuie să fie infinit (pentru a nu avea o margine de pe care să cazi). Desigur, e posibil ca ceea ce ne apare drept univers plat infinit să fie totuși închis și doar mult prea mare pentru a detecta vreodată o curbură. Într-un asemenea univers, valoarea lui Omega ar fi foarte apropiată de unu.

Majoritatea oamenilor, inclusiv cosmologii, ar prefera să nu aibă de-a face cu un univers infinit. În ultimii ani a apărut un nou domeniu de cercetare: *topologia cosmică*, studiul formei universului. Un rezultat interesant, și pesemne uimitor, din acest domeniu ne spune că până și un univers deschis – plat sau hiperbolic – s-ar putea dovedi că are o formă echivalentă în mai multe dimensiuni cu suprafața unui covrig (având o gaură la mijloc).

Îmi dau seama că suprafața unui covrig nu vi se pare plată, dar există un mod elegant de a vizualiza planeitatea unui asemenea univers. Să ne închipuim că spațiul e ca ecranul unor jocuri video de pe vremuri cum e Asteroids (trebuie să

ai o anumită vârstă ca să-ți aduci aminte de el). În acest joc, ghidezi mișcarea rachetei în timp ce tragi în asteroizii care zboară spre tine din toate direcțiile, distrugându-i înainte să te lovească. Dacă însă ghidezi cu prea mult entuziasm mișcarea rachetei, ieși dincolo de marginea ecranului și apari în partea cealaltă. E ca și cum marginile din stânga și din dreapta ecranului ar fi lipite. Dacă ecranul ar fi o foaie de hârtie, ar fi echivalent cu rularea ei într-un cilindru. Ce se întâmplă atunci cu părțile de sus și de jos ale ecranului? Ei bine, și ele sunt unite – ca și cum ai lua cilindrul și l-ai încovoia în jurul unui cerc, așa încât să unești partea de sus cu partea de jos. Și, iată, ai obținut un covrig.

Dar putem considera că o asemenea suprafață e plată? – v-ați putea întreba. Mai țineți minte triunghiul desenat pe sfera din capitolul 1? Suma unghiurilor lui e mai mare de 180°– semn clar că suprafața e curbă. Suprafața covrigului e însă altfel; dacă desenezi pe ea un triunghi, suma unghiurilor lui rămâne aceeași ca înainte de a uni capetele: 180°. Din punct de vedere geometric, suprafața e tot plată.

Desigur, dacă universul are într-adevăr formă de covrig, masa lipsă e pesemne macul sau susanul.

DE CE E ÎNTUNERIC NOAPTEA?

V-ați putea gândi că e o întrebare banală, chiar prostească. Până și un copil „știe“ că Soarele apune sub orizont, iar din moment ce nu există pe cer nimic altceva comparabil ca strălucire cu Soarele, trebuie să ne mulțumim cu lumina palidă reflectată de Lună, și cu lumina încă și mai slabă provenind de la stelele îndepărtate. Ei bine, nu-i chiar așa simplu!

Avem motive întemeiate să credem că, și în cazul în care universul nu e infinit, este atât de mare încât practic e infinit. Iar atunci ajungem la ceea ce se numește *paradoxul lui Olbers*. Într-un enunț simplu, el spune că noaptea cerul n-ar trebui să fie întunecat, ba chiar ar trebui să fie mult mai luminos decât îl vedem noi ziua, așa încât nici să nu conteze dacă Soarele e sau nu sus pe cer.

Imaginează-ți că te afli în mijlocul unei păduri imense, suficient de mare pentru a putea presupune că se întinde la nesfârșit. Încearcă acum să tragi cu arcul într-o anumită direcție (orizontală), așa încât săgeata *să nu* atingă nici un trunchi de copac. În această situație idealizată, acceptăm că săgeata continuă să zboare drept, fără să cadă vreodată. Evident, e imposibil. Chiar dacă săgeata trece pe lângă toți copacii apropiați, până la urmă tot va atinge unul. Cum pădurea e infinită, în calea săgeții se va afla mereu un copac, oricât de îndepărtat. Nici nu contează cât de deasă e pădurea. Dacă

tai 90% din copaci, asta nu înseamnă decât că, în medie, săgeata va străbate o distanță de zece ori mai mare până să întâlnească un trunchi.

Să considerăm acum un model simplu de univers infinit, static (nu se extinde), cu stele răspândite uniform. Lumina stelelor care ajunge la noi e ca în exemplul cu săgeata – nu contează încotro privim cerul: dacă universul e infinit, trebuie să existe mereu o stea în linia noastră vizuală. N-ar trebui să existe așadar nici un fel de goluri pe cer unde să nu vedem vreo stea, iar *întreg* cerul ar trebui să fie mereu la fel de strălucitor ca suprafața Soarelui!

Universul real s-ar putea să fie și el infinit, dar în alte privințe se deosebește de modelul simplu de mai sus. Mai întâi, stelele nu sunt răspândite uniform, ci se aglomerează în galaxii. Dar asta nu prea contează, nu înseamnă decât că noaptea cerul trebuie să fie la fel de strălucitor ca o galaxie medie, care nu e chiar atât de strălucitoare ca o stea medie, și totuși rămâne orbitoare. În al doilea rând, universul nostru se extinde. Are vreo importanță? Fizicienii au făcut calcule amănunțite care arată că asta nu rezolvă problema, ci doar o atenuează. Așadar, care e răspunsul?

S-a crezut că spațiul poate fi umplut cu praf și gaz interstelar, care ar eclipsa lumina provenind de la galaxiile mai îndepărtate. Universul există însă de suficient timp pentru ca această materie să fi fost treptat încălzită de

lumina absorbită, iar în cele din urmă să strălucească la fel de intens ca galaxiile pe care le eclipsează.

Răspunsul adevărat, cel care lămurește paradoxul lui Olbers, este că, universul neexistând dintotdeauna, lumina galaxiilor foarte îndepărtate pur și simplu n-a avut timp să ajungă la noi. Dacă big bang-ul a avut loc cu 13,7 miliarde de ani în urmă, galaxiile aflate la o distanță mai mare de 13,7 miliarde de ani-lumină (vă reamintesc, un an-lumină este distanța străbătută de lumină în timp de un an) ne sunt invizibile, fiindcă lumina lor continuă să călătorească pentru a ajunge la noi. E drept, discuția este ceva mai complicată din cauza expansiunii universului, dar ceea ce vedem pe cer este doar o infimă parte din întregul univers. Se numește universul vizibil, și nici cu cele mai puternice telescoape nu putem vedea dincolo de un anumit orizont din spațiu. Așadar, universul vizibil (infimul nostru colț de spațiu) are o margine, deși universul în întregul lui n-are.

Dincolo de marginea universului vizibil, presupunem că există alte galaxii care nu se deosebesc de cele pe care le putem vedea. Aceste galaxii ne vor rămâne însă pe veci invizibile, fiindcă se îndepărtează de noi cu o viteză mai mare decât viteza luminii. S-ar putea ca afirmația asta să vă aprindă un bec de alarmă, dacă știți că teoria relativității a lui Einstein spune că nimic nu poate călători mai repede

decât lumina. Voi reveni la subiect în capitolul 6, dar deocamdată am să explic printr-un exemplu simplu cum e posibil ca galaxiile aflate dincolo de orizontul nostru vizibil să se deplaseze cu asemenea viteze.

Să considerăm o galaxie din universul vizibil, dar atât de îndepărtată încât luminii i-au trebuit 12 miliarde de ani ca să ajungă pe Pământ. Cu 12 miliarde de ani în urmă, când lumina ei și-a început călătoria, acea galaxie era însă mult mai aproape de noi. De atunci, lumina galaxiei s-a luptat (și a învins la limită) împotriva spațiului în continuă expansiune, așa cum se întâmplă când încerci să cobori pe o scară rulantă care urcă. Să considerăm acum altă galaxie, la fel de îndepărtată ca prima, dar situată de partea cealaltă a Pământului. Și lumina ei a ajuns la noi după 12 miliarde de ani, dar nici o ființă din această galaxie n-a primit lumina provenind de la prima galaxie – acea lumină a străbătut doar jumătatea distanței dintre galaxii. Cele două galaxii se află fiecare în afara universului vizibil al celeilalte. Ele nu știu, și nu vor putea niciodată să știe, una de existența celeilalte, fiindcă ele se îndepărtează una de alta cu viteză mai mare decât viteza luminii. Esențial aici e faptul că nici una nu se deplasează *prin* spațiu mai repede decât lumina – ceea ce, după cum vom vedea, e imposibil –, dar spațiul dintre ele se întinde cu o viteza mai mare decât viteza luminii.

Putem, în fine, răsturna paradoxul lui Olbers: *faptul că cerul e întunecat noaptea dovedește că big bang-ul a avut într-adevăr loc*.

CE A FOST ÎNAINTE DE BIG BANG?

Una dintre întrebările frecvente care mi se pun când vorbesc în public despre cosmologie se leagă de ce a fost înainte de big bang. La urma urmei, dacă big bang-ul chiar a avut loc cu 13,7 miliarde de ani în urmă, ce anume l-a provocat? Ce a declanșat nașterea universului nostru? Voi da în continuare pe scurt trei răspunsuri standard la întrebarea de mai sus. Le voi enumera în ordinea inversă a preferinței personale.

Primul răspuns e valabil doar dacă universul conține suficientă materie pentru ca, în cele din urmă, expansiunea să fie oprită. În acest caz, în viitorul îndepărtat va începe să se contracte, sfârșind într-un big crunch. Dacă așa se va întâmpla, și concepem colapsarea în big crunch ca pe inversarea în timp a big bang-ului inițial, atunci cele două evenimente sunt echivalente. Big crunch-ul universului nostru ar putea deci servi drept big bang pentru un univers născut din cenușa universului nostru. Iar dacă așa stau lucrurile, atunci s-ar putea ca universul nostru să fie urmașul unui univers mai vechi care, la rândul lui, s-a extins și apoi a colapsat. Poate că așa a fost dintotdeauna: un număr infinit de

universuri, fiecare extinzându-se și colapsând pe rând. Așadar, răspunsul la întrebarea „Ce a fost înainte de big bang?“ este că a existat un alt univers, poate asemănător cu al nostru.

Din moment ce acum pare improbabil să existe suficientă materie ca să fie închis, pesemne că universul nu va colapsa. Poate că big bang-ul a fost un eveniment unic. În acest caz, trebuie să căutăm răspunsuri mai complicate la întrebare. Un răspuns îndrăgit de fizicienii cu înclinații matematice este că până la big bang universul a făcut parte dintr-un spațiu mult mai vast, cu zece (sau unsprezece, în funcție de interlocutor) dimensiuni. Se spune despre acest univers că ar fi fost „instabil“ sau că ar fi existat într-un „vid fals“, de parcă n-ar fi știut ce să facă cu el însuși. I-a venit în ajutor big bang-ul, prin care a efectuat un „salt cuantic“ într-o stare mai stabilă. Când acesta a avut loc, șase (sau șapte) dintre dimensiuni s-au încolăcit ca într-o minge incredibil de mică, rămânând cele trei dimensiuni ale spațiului și dimensiunea timpului pe care le vedem azi.

Altă propunere este că big bang-ul nostru – cel care a creat universul în care locuim – n-a fost decât ciocnirea a două universuri plutind într-un spațiu cu mai multe dimensiuni. În jargonul fizicii teoretice, big bang-ul e rezultatul ciocnirii a două 3-brane din multivers. Această formulare apare firesc din cele mai sofisticate, dar și cele mai obscure, teorii din fizica

modernă: *teoria supercorzilor* și *teoria M*. Timpul ne va spune dacă ele se află pe drumul cel bun.

În fine, ultimul răspuns, și cel standard, este următorul. Dacă teoria relativității generale a lui Einstein e corectă, și noi credem că e, atunci big bang-ul n-a marcat doar nașterea universului, ci și nașterea timpului însuși. A pune întrebarea ce a fost *înainte* de big bang presupune că a existat un timp care să justifice folosirea cuvântului *înainte*. Din moment ce pur și simplu n-a existat timp înainte de big bang, întrebarea n-are sens.

REZUMAT

Închei întorcându-mă pe scurt la câteva concepte din cosmologie, pentru a spune de câtă încredere se bucură.

Big bang: Da, aproape sigur a avut loc. Sunt totuși câțiva fizicieni care îl contestă. Teoria lor, numită *teoria stării staționare*, susține că universul n-a cunoscut un moment al creației, ci a existat dintotdeauna. Interesant este că, în ciuda numeroaselor dovezi în favoarea big bang-ului, rămâne de găsit un mod satisfăcător de a îngropa ideea stării staționare.

Expansiunea universului: La fel ca în cazul big bang-ului, nu mai există dubii reale în privința ei.

Vârsta universului: Conform estimărilor actuale este de 13,7 miliarde de ani.

Forma universului: Pare probabil să fie deschisă sau plată, pe baza estimărilor privind cantitatea de materie conținută și rata actuală a expansiunii. Dacă ar fi să aleg, aș spune că e probabil plat (sau atât de aproape de forma plată, încât nu ne vom putea da niciodată seama de abatere).

Mărimea universului: Dacă universul nostru e „multiplu conex“[20], atunci el poate fi de mărime finită, dar mult mai mare decât putem vreodată vedea. Teoriile actuale preferă să nu fie infinit.

Soarta universului: Indiferent ce formă sau mărime ar avea universul, măsurătorile ratei de expansiune (prin studiul luminii provenind de la supernovele din galaxii îndepărtate) indică ferm faptul că universul se va extinde pe veci, sfârșind într-un mare îngheț (*big freeze*). Într-un fel, mulți oameni se împacă mai ușor cu gândul acesta, fiindcă măcar timpul va continua pe veci. Dacă big bang-ul e începutul timpului, big crunch-ul ar marca sfârșitul absolut al timpului. Nu doar că nimic nu i-ar supraviețui, dar însuși cuvântul *după* și-ar pierde sensul.

Inflație: Teoria pare acum solidă, deși există mai multe versiuni ale ei. Majoritatea cer ca universul să fie plat, însă în prezent e elaborată o teorie numită *inflație deschisă*, care elimină cerința planeității și permite ideea bizară de univers deschis infinit care încape într-o „bulă“ de volum finit, plutind într-un spațiu extern.

Antigravitație: Constanta cosmologică a revenit la modă, sugerând că există o forță repulsivă antigravitațională, răsfirând materia, care determină expansiunea universului. Încă nu înțelegem originea și natura ei.

---

14. Particulele ipotetice numite tahioni, care ar călători mai repede decât lumina, sunt admise de teoria relativității, dar probabil nu există în universul real. (*N. a.*)

15. Am adus la zi datele astronomice conform celor cunoscute în 2020. (*N. t.*)

16. Termenul „big bang“ a fost inventat abia în anii 1950 de astrofizicianul Fred Hoyle. (*N. a.*)

17. Mai exact, Friedmann a prezis trei tipuri de univers, fiindcă un univers „plat“ se află în punctul de echilibru între un univers deschis și un univers închis. (*N. a.*)

18. Dacă ai mai multe cunoștințe de cosmologie decât lași să se înțeleagă, atunci știi că un univers se poate extinde la nesfârșit, fiind totuși închis. Dar dacă ești cosmolog, n-ai nevoie să citești cartea asta. (*N. a.*)

19. Nici acest lucru nu e strict necesar. Voi arăta mai jos că un univers deschis nu trebuie neapărat să fie infinit de întins. (*N. a.*)

20. În termeni mai puțin riguroși, un domeniu simplu conex nu conține găuri (de pildă, o sferă), iar un domeniu multiplu conex conține găuri (cum e covrigul pomenit mai sus de Al-Khalili). (*N. t.*)

4
Găurile negre

Găurile negre sunt cepurile spațiului. — BEAVIS ȘI BUTTHEAD

MISTERIOS LUCRU E LUMINA!

Lumina e într-adevăr un lucru straniu. Dacă nu cumva ai o pregătire științifică, sunt puține șanse să-ți fi bătut capul întrebându-te ce este lumina. Desigur, te-ai putea gândi, este ceea ce emit Soarele, becurile, lanternele, lumânările, focul etc., și, indiferent din ce e alcătuită, intră în ochii noștri și „vedem“ lucruri. Când lumina se reflectă pe un obiect, ea aduce pe retinele noastre informații despre forma și culoarea acelui obiect. Totuși, din ce e lumina alcătuită?

Am arătat deja că lumina care se îndepărtează de noi devine mai roșie pentru că lungimea ei de undă e întinsă. Rezultă de aici că nu-i alcătuită dintr-o materie fizică pe care s-o putem atinge. De fapt, ni se spune la școală că nu-i altceva decât unde de energie care oscilează periodic, la fel ca undele sonore sau ca valurile de pe suprafața unui lac când arunci o piatră în el. Toate experimentele pe care le-ai făcut în

laboratorul din școală ți-au confirmat pesemne asta. Undele de lumină se reflectă pe oglinzi, sunt focalizate de lentile și sunt separate în culorile curcubeului – spectrul vizibil al luminii –, de pildă atunci când razele Soarelui trec printr-o prismă.

Unele dintre aceste experimente pot fi foarte distractive: țin minte că, în copilărie, m-am amuzat încercând să înțeleg de ce razele de lumină care pătrund printr-un mic orificiu într-o cutie închisă produc o imagine răsturnată pe fața din spate a cutiei. Apoi însă toate astea au devenit banale. Din fericire, pentru cei care se plictisesc mai ușor decât un fizician oarecare, se dovedește că lumina nu-i nici pe departe atât de plictisitoare și banală pe cât suntem lăsați să credem în școală. Ba chiar e atât de ciudată, încât toți profesorii de științe sunt puși să semneze un document secret prin care se obligă să nu divulge adevărata natură a luminii copiilor inocenți și naivi. Mai târziu, ei vor fi total dezinteresați sau pur și simplu vor refuza să creadă că ceva atât de familiar ca lumina poate ascunde un mister adânc, jucând un rol fundamental în funcționarea universului.

Bine, recunosc că o înțelegere secretă semnată de profesori te duce cu gândul la o poveste a lui Roald Dahl. Evident, nu există vreo conspirație globală pentru a ascunde natura adevărată a luminii, dar nu glumesc atunci când spun că lumina e un lucru tare misterios.

Sunetul e un exemplu simplu de undă. Spunem că un obiect produce un sunet dacă face să vibreze moleculele de aer din jurul lui. Aceste molecule se ciocnesc cu altele din vecinătatea lor, punându-le în mișcare, și tot așa până la urechile noastre. Moleculele din ureche pun în vibrație timpanul, iar creierul nostru traduce vibrația în sunet. Și totuși, nu există vreo „substanță“ materială care să călătorească de la obiectul care produce sunetul la urechea noastră.

Lumina e mult mai mult decât atât. Voi arăta în capitolul 7 că lumina joacă un rol esențial în natura însăși a spațiului și timpului. „Când ajungem la lumină“, spunea fizicianul David Bohm, „ajungem la acea activitate fundamentală pe care se întemeiază existența.“ Pentru a vorbi despre găurile negre, să vedem mai întâi din ce e alcătuită lumina.

Pe baza celebrelor lui experimente cu prisme, Isaac Newton credea cu tărie că lumina e compusă dintr-un flux de particule minuscule pe care le-a numit corpusculi. Pentru el era un lucru evident, odată ce, fără îndoială, lumina nu se comportă ca undele sonore. Lumina călătorește mereu în linii drepte (mai era mult până să se descopere curbarea luminii sub influența gravitației) și lasă umbre precise. Undele sonore, în schimb, ocolesc obstacolele. Au nevoie de un mediu prin care să se propage, o substanță materială alcătuită din atomi care,

oscilând, transportă energia și frecvența sunetului. De aceea pe afișele care făceau în anii 1980 reclamă la filmul *Alien* stătea scris „În spațiu, nimeni nu te aude când strigi“, ceea ce e corect, fiindcă în spațiu nu există aer care să transporte undele sonore. Lumina se comportă însă cu totul altfel, ea străbate fără probleme spațiul gol.

De aceea Newton era convins că teoria corpusculară a luminii e corectă. Dar nu toată lumea era convinsă, și a trecut mai bine de un secol pentru a apărea dovada clară că teoria lui Newton nu explică totul. La începutul secolului XIX, Thomas Young a descoperit că motivul pentru care lumina nu pare să se abată de la traiectoria dreaptă când întâlnește un obstacol este amploarea foarte mică a efectului. Lungimea de undă a luminii e atât de scurtă în comparație cu cea a sunetului, încât încovoierea razei, numită *difracție*, e greu de detectat. Young a reușit totuși s-o pună în evidență trimițând lumina prin fante foarte înguste, și a arătat că, atunci când ajunge la un ecran de partea cealaltă, formează un șir de franje luminoase și întunecate – ceea ce era imposibil de înțeles dacă lumina ar fi compusă din particule. Orice manual de fizică explică aceste *franje de interferență* prin întărirea și anularea reciprocă a crestelor și văilor undelor luminoase

provenind de la cele două fante. Am observat cu toții acest efect la școală în experimentele cu micile valuri ale apei dintr-o cuvă.

Așadar, s-a înșelat Newton? Este oare lumina o undă, și nu un flux de particule? La sfârșitul secolului XIX interpretarea lui Young părea să primească deplina confirmare atunci când fizicianul scoțian James Clerk Maxwell a găsit un set de ecuații care arăta că toată lumina vizibilă e o formă de radiație electromagnetică, despre care știm acum că include și alte forme, cum sunt undele radio, microundele și razele X, precum și radiațiile infraroșii și ultraviolete. S-a dovedit că lumina e o combinație de câmpuri electric și magnetic oscilante perpendiculare între ele, care poate străbate spațiul gol. Lumina era deci o undă, dar spre deosebire de valurile de pe suprafața apei, nu avea nevoie de un mediu (o substanță fizică) prin care să se propage. Se încheia oare aici povestea?

Nici vorbă. Intră în scenă Albert Einstein, care a primit Premiul Nobel pentru un articol scris în 1905 – care, surprinzător, n-are nici o legătură cu teoriile relativității. Articolul explica ceva numit efect fotoelectric, și demonstra că Newton nu se înșelase cu totul. La nivel fundamental, lumina e alcătuită din entități minuscule numite *cuante*, cunoscute acum sub numele de *fotoni*. Cum rămâne atunci cu franjele de interferență ale lui Young? Dar cu

undele electromagnetice ale lui Maxwell? Ce Dumnezeu se întâmplă aici? Din ce e alcătuită lumina, din unde, sau din particule?

Există o mulțime de cărți care explică ce se întâmplă. Se dovedește că lumina e într-adevăr schizofrenică. Uneori o vedem că se comportă ca o undă periodică, alteori ca un flux de particule. Depinde de tipul de experiment pe care-l facem. Dacă nu vă place, ghinion! V-am spus că lumina e ciudată. Teoria care descrie comportamentul luminii se numește *electrodinamică cuantică* (*quantum electrodynamic*s – QED), și a fost elaborată, între alții, de fizicianul american Richard Feynman la sfârşitul anilor 1940. După cum sugerează numele ei, QED a fost dedusă dintr-o teorie mai cuprinzătoare din fizica modernă numită *mecanică cuantică*, care descrie comportamentul nu doar al luminii, ci al întregii materii la nivelul ei fundamental (atomic și subatomic).

Mecanica cuantică a fost elaborată la mijlocul anilor 1920 de câțiva fizicieni europeni, între care Einstein, și e mult mai stranie chiar și decât teoria relativității. Conform ei, un atom se poate afla simultan în două locuri, iar particule minuscule pot apărea spontan din nimic, dispărând apoi imediat. Cei mai mari fizicieni ai lumii sunt toți de acord cu faptul că, dacă cineva nu-i tulburat de ce ne spune mecanica cuantică despre lumea în care

trăim, înseamnă că n-a înțeles cu adevărat mecanica cuantică. Și totuși, a fost cea mai importantă descoperire științifică a secolului XX. Mecanica cuantică se află la baza întregii chimii și electronici moderne. Fără ea, n-am fi putut înțelege structura cristalelor sau inventa laserele și circuitele integrate. Fără înțelegerea regulilor mecanicii cuantice, n-ar fi existat televizoare, calculatoare, cuptoare cu microunde, CD playere, ceasuri digitale și mai tot ce ține de epoca noastră tehnologică.

Încheiem discuția noastră despre lumină citând o afirmație a lui Einstein din 1951 (cu patru ani înainte să moară):

> Acești cincizeci de ani în care mi-am frământat mintea tot nu m-au adus mai aproape de răspunsul la întrebarea „Ce este cuanta de lumină?“. În ziua de azi, orice Tom, Dick și Harry crede că știe, dar se înșală.

După această scurtă introducere despre natura luminii, pot începe să vorbesc despre găurile negre.

STELE INVIZIBILE

Povestea noastră ne aduce cu mai bine de două sute de ani în urmă, la sfârșitul secolului XVIII, fiindcă atunci au înțeles oamenii de știință că găurile negre ar putea exista. Au fost numite

stele invizibile, iar existența lor decurgea logic din combinarea legii gravitației a lui Newton și teoria sa corpusculară a luminii.

Până relativ recent se credea că primul care a prezis existența găurilor negre a fost celebrul matematician și astronom francez Pierre-Simon de Laplace, în 1795. Știm acum că el a fost devansat de un geolog englez pe nume John Michell, parohul bisericii din Thornhill, în Yorkshire.

Considerat părintele seismologiei, Michell a fost primul care, în urma cutremurului de la Lisabona din 1755, a arătat că producerea cutremurelor se explică prin creșterea presiunii gazului ca rezultat al fierberii apei datorată căldurii vulcanice. El a arătat de asemenea că locul de unde sunt declanșate cutremurele s-ar putea afla sub fundul oceanului, cutremurul de la Lisabona fiind un exemplu în acest sens. Ideile sale privind formarea găurilor negre în spațiu au fost prezentate Societății Regale din Londra în 1783. Michell și Laplace și-au întemeiat raționamentele destul de asemănătoare pe noțiunea de viteză de evadare.

Am văzut recent un documentar TV despre constructorii amatori de rachete. Acești tipi își iau în serios hobby-ul și participă la competiții pentru a vedea a cui rachetă ajunge la cea mai mare altitudine înainte ca gravitația Pământului s-o aducă înapoi. Desigur, problema e că rachetele trebuie să atingă viteza de evadare

pentru a se elibera de atracția gravitațională a Pământului și a ieși în spațiu. Poate părea surprinzător, dar spațiul nu-i chiar așa departe – vreo două ore de mers cu mașina, dacă ai conduce drept în sus. Problema e că orice obiect aruncat în sus va fi imediat încetinit de gravitație, așa încât trebuie să aibă de la început o viteză suficient de mare pentru a face față încetinirii. Amintiți-vă că forța gravitației devine mai slabă odată cu creșterea distanței, deci racheta nu trebuie să se deplaseze foarte repede odată ce a atins o anumită altitudine. În practică, rachetele ajung treptat pe orbită, punând în funcțiune succesiv motoarele.

Viteza de evadare la suprafața Pământului este de 11 kilometri pe secundă (sau 40 000 de kilometri pe oră. Pe Lună, e puțin mai mare de 2 kilometri pe secundă, de aceea modulele lunare ale misiunilor Apollo nu aveau nevoie de motoare prea puternice pentru a părăsi Luna și a se întoarce pe Pământ.

Viteza de evadare pe Soare este de 620 de kilometri pe secundă. Michell a calculat această valoare pornind de la dimensiunea și densitatea Soarelui. Cunoștea cu oarecare precizie și viteza luminii, măsurată cu un secol înainte, și care era de 500 de ori mai mare decât viteza de evadare de pe Soare. Michell a calculat așadar că pentru o stea de 500 de ori mai mare decât Soarele, dar având aceeași densitate, viteza de evadare ar fi egală cu viteza luminii.

Michell se conforma ideii lui Newton că lumina e alcătuită din particule, de unde rezulta că lumina trebuie să fie influențată de gravitație ca orice alt obiect. Prin urmare, pentru o stea având aceeași densitate ca Soarele, dar de peste 500 de ori mai mare, viteza de evadare ar depăși viteza luminii, așa încât particulele de lumină n-ar fi suficient de rapide pentru a scăpa de atracția ei gravitațională. O asemenea stea ar apărea neagră unui observator extern. De fapt, ar fi invizibilă!

Michell explicase de ce e „neagră“ o gaură neagră, însă trebuie să ajungem în secolul XX pentru a înțelege de ce e „gaură“. În fond, o stea invizibilă, așa cum arătaseră Michell și Laplace, nu-i un lucru foarte interesant. Folosirea noțiunii de viteză de evadare pentru a explica găurile negre e cam totuna cu a spune că big bang-ul a fost pur și simplu o mare explozie a materiei și energiei, fără să mai adaugi nimic. După cum am arătat în capitolul precedent, big bang-ul n-a avut loc undeva anume în spațiu și la un anumit moment, ci a cuprins spațiul și timpul într-un mod greu de înțeles. La fel, găurile negre sunt mult mai mult decât mari grămezi dense de stele moarte, a căror gravitație e prea puternică pentru ca lumina să evadeze. Ele se deosebesc în mai multe privințe de stelele invizibile ale lui Michell. Mai întâi, stelele negre ale lui Michell sunt obiecte solide de mărime bine definită. Găurile negre, așa cum le

înțelegem azi, sunt compuse aproape în întregime din spațiu gol! De fapt, ele sunt la propriu găuri în spațiu, înăuntrul cărora spațiul și timpul sunt complet distorsionate. Și, cu toate că nu ne-am aflat niciodată în fața unei găuri negre, avem o idee despre ce s-ar întâmpla dacă ai cădea într-o gaură neagră (n-ar fi prea plăcut), pe baza relativității generale a lui Einstein. Dacă teoria e corectă, și deocamdată n-avem motive să ne îndoim, rezultă nu numai că găurile negre există în univers, dar și că ele sunt o consecință inevitabilă a gravitației einsteiniene. Kip Thorne, unul dintre cei mai mari specialiști în relativitate generală, susține chiar că „legile fizicii moderne impun practic existența găurilor negre“.

La sfârșitul capitolului 3 am arătat ce se întâmplă cu o stea de zece ori mai mare decât Soarele atunci când își epuizează combustibilul nuclear. După ce ne-am familiarizat în capitolul precedent cu unele idei din cosmologie, suntem acum pregătiți să vedem mai îndeaproape cum și de ce se formează găurile negre. Să ne amintim că gravitația einsteiniană este cea care curbează spațiul. Așadar, cu cât e mai puternic câmpul gravitațional al unui corp masiv, cu atât spațiul din vecinătatea lui va fi mai curbat și mai distorsionat.

Când o stea mare explodează ca supernovă, adesea își va azvârli cea mai mare parte din masă în spațiu, lăsând în urmă miezul unei stele

neutronice care nu mai are suficientă masă pentru a continua colapsul gravitațional. În interiorul unui asemenea obiect dens, materia e atât de înghesuită, încât nici măcar atomii nu-și mai pot păstra identitatea inițială. La materia normală, cum e cea care alcătuiește totul din jurul nostru, inclusiv pe noi înșine, atomii, deși atât de mici, sunt compuși în principal din spațiu gol. Au în centru un nucleu minuscul, care e înconjurat de electroni încă și mai mici. Legile mecanicii cuantice dictează comportamentul acestor electroni în atomi și explică de ce se află departe de nucleu. În interiorul unei stele neutronice, gravitația e atât de intensă, încât atomii sunt striviți laolaltă, iar electronii sunt înghesuiți în nuclee. Legile mecanicii cuantice fac ca acum să apară o presiune orientată spre exterior, care împiedică steaua neutronică să colapseze mai departe sub propria-i greutate.

Ce se întâmplă însă dacă o stea, după ce-și azvârle o parte din materia ei într-o supernovă, rămâne cu un miez a cărui masă depășește o anumită masă critică (cam de trei ori mai mare decât cea a Soarelui)? Acum, nici măcar un obiect foarte compact, având densitatea unei stele neutronice, nu e suficient de „solid“. Presiunea internă din materia lui nu e suficientă pentru a rezista contracției gravitaționale, așa încât continuă să colapseze. În loc să fie încetinit, colapsul gravitațional e accelerat. E ca

o minge care se rostogolește spre vârful unui deal. Odată trecută de punctul de maximă altitudine, se rostogolește la vale tot mai repede de cealaltă parte a dealului. Ce se întâmplă mai departe? Colapsul n-ar trebui oare să se oprească? Steaua e tot mai comprimată, materia din interiorul ei e tot mai strâns înghesuită.

Viteza de evadare la suprafața stelei depinde de masa și de mărimea ei. Nu este nevoie deci ca o stea să aibă aceeași densitate ca a Soarelui și să fie de 500 de ori mai mare pentru ca viteza de evadare să depășească viteza luminii. Am obține același rezultat dacă Soarele ar fi comprimat până la un diametru de câțiva kilometri, fiindcă, deși ar avea aceeași masă (aceeași cantitate de materie) ca înainte de a fi comprimat, ar fi acum mult mai dens. O asemenea densitate ar fi mult mai mare decât cea a unei stele neutronice (pentru care viteza tipică de evadare este de ordinul unei jumătăți din viteza luminii), iar colapsul va continua până la formarea unei găuri negre.

Raționamentul lui Michell și Laplace conform căruia o stea care colapsează va deveni în cele din urmă invizibilă rămâne deci valabil în cazul stelelor care colapsează și au o masă mai mare decât valoarea critică pentru o stea neutronică. Dar de-abia acum începem să întrezărim natura exotică a găurilor negre. Am vrea să știm dacă există ceva care poate opri

colapsul gravitațional al unui asemenea obiect, chiar dacă nu mai putem „vedea“ ce se întâmplă.

Indiciul ține de faptul că Michell și Laplace au folosit gravitația lui Newton, nu pe cea a lui Einstein. În capitolul 3 lăsam să se înțeleagă că principala diferență între gravitația newtoniană și cea einsteiniană se lega de interpretarea lor. Pentru Newton, gravitația era pur și simplu o forță atractivă între oricare două corpuri, în vreme ce Einstein spunea că ea curbează sau deformează spațiul din jurul unui obiect datorită masei lui, ceea ce face ca obiectele din vecinătate să se rostogolească în adâncitura din spațiu din jurul lui, apropiindu-se de el. Depinde însă rezultatul final de interpretarea pe care o alegem? Se dovedește că da. Odată ce gravitația devine foarte intensă (ca în vecinătatea unei stele masive care colapsează), versiunea einsteiniană a gravitației începe să se deosebească radical de cea newtoniană. De fapt, spunem că gravitația lui Newton e doar aproximativ corectă, și funcționează bine în cazul câmpului gravitațional slab de pe Pământ, dar pentru a înțelege găurile negre trebuie s-o abandonăm.

De îndată ce și-a încheiat teoria relativității generale în 1915, Einstein s-a apucat să încerce să *rezolve* ecuațiile sale de câmp. Aceste ecuații erau întruparea complicată (dar matematic frumoasă) a ideilor sale privind legătura dintre

materie, spațiu și timp. A scrie ecuațiile nu înseamnă însă decât să porți o jumătate din bătălie. Ele trebuie apoi aplicate unor situații și scenarii particulare, ceea ce nu înseamnă doar să introduci niște numere într-o formulă, ci să faci pagini întregi de calcule complicate, în vreme ce matematica gravitației newtoniene este atât de simplă încât e predată la școală.

Prima soluție exactă a ecuațiilor relativității generale a fost obținută de astronomul german Karl Schwarzschild. El și-a încheiat calculele pe patul de moarte, după ce a contractat o boală de piele incurabilă în timpul Primului Război Mondial, la doar câteva luni după ce Einstein își publicase lucrarea. Soluția Schwarzschild, așa cum e cunoscută, descrie proprietățile spațiului și timpului datorate câmpului gravitațional din jurul oricărei concentrații sferice de masă. S-a văzut mai târziu că rezultatul lui Schwarzschild conținea descrierea unei găuri negre în spațiu. De fapt, abia în 1967 fizicianul american John Wheeler a inventat termenul *gaură neagră*, care de atunci a captivat imaginația publicului.

DINCOLO DE ORIZONT

Soluția lui Schwarzschild la ecuațiile lui Einstein arată că, atunci când un corp suficient de masiv colapsează sub propria-i greutate, va atinge o dimensiune critică, dincolo de care nimic nu mai poate opri colapsul, indiferent cât

de comprimat e corpul. Aceasta e dimensiunea la care, conform calculului newtonian al lui Michell, viteza de evadare devine egală cu viteza luminii. Relativitatea introduce însă o diferență importantă.

Dacă folosim doar gravitația newtoniană, atunci – presupunând că presiunea internă a stelei colapsate e suficient de mare – nu există nici un motiv pentru care colapsul să nu se oprească la această dimensiune critică, sau imediat dincolo de ea. Totul depinde de etapa la care moleculele, atomii sau chiar particulele subatomice spun „gata, ajunge, nu mai tolerăm nici o altă comprimare!“.

Conform lui Newton, forța gravitațională crește cu inversul pătratului distanței. Asta înseamnă că, dacă o stea colapsează până când raza ei devine de două ori mai mică, forța gravitațională la suprafața ei va fi de patru ori mai mare. Dacă raza ei devine de trei ori mai mică, forța gravitațională va fi de nouă ori mai mare. Dacă raza ei devine de patru ori mai mică, forța gravitațională va fi de șaisprezece ori mai mare. Și așa mai departe. Pe măsură ce raza scade, forța gravitațională crește. Dacă întreaga masă a stelei ar putea fi comprimată până la un punct de dimensiune zero (raza fiind acum zero), forța gravitațională ar fi infinită.

Relativitatea generală spune cu totul altceva. Dacă steaua colapsează sub o dimensiune critică, așa încât viteza de evadare este egală cu

viteza luminii, *forța gravitațională la suprafața ei devine infinită* – înțeleg prin asta forța de care ar fi nevoie pentru a opri colapsul. Raza acestei dimensiuni critice, numită *rază Schwarzschild*, marchează frontiera unei găuri negre. Colapsul *trebuie* așadar să continue dincolo de această rază. Dacă ai înclinații matematice,[21] te-ai putea întreba[22] cum e cu putință ca forța să fie infinită la raza Schwarzschild, și să crească și mai mult odată ce steaua continuă să colapseze. Cum poate fi ceva mai mare decât infinitul? Răspunsul se găsește în discuția (din capitolul 3) despre obiectele care cad liber. Dacă te afli în cădere liberă, să spunem la capătul unei corzi de *bungy jumping*, accelerația ta anulează efectul gravitației, și nu simți nici o atracție gravitațională. La fel, atunci când colapsează dincolo de raza critică, suprafața stelei se află în cădere liberă, și nu simte atracția gravitațională a interiorului stelei. De aceea steaua nu se poate opri la raza critică – e imposibil s-o împiedici să colapseze mai departe.

Dinăuntrul razei Schwarzschild, nimic – nici măcar lumina – nu poate evada. Să ne imaginăm o sferă de rază egală cu raza Schwarzschild, care înconjoară steaua colapsată. Suprafaţa acestei sfere se numește *orizontul evenimentelor*. E o frontieră artificială în spațiu care marchează punctul de unde nimic nu se poate întoarce. În afara orizontului, gravitația e intensă, dar finită, iar obiectele pot

scăpa de atracția ei. Odată aflat însă în interiorul orizontului, un obiect ar trebui să se deplaseze mai repede decât lumina pentru a evada, ceea ce nu e permis. Așadar, orizontul evenimentelor e o noțiune cam supărătoare, pentru că permite traficul doar într-un singur sens.

Orizontul evenimentelor e un nume potrivit fiindcă poate fi comparat (în linii mari) cu *orizontul* Pământului, în accepțiunea pe care i-o dăm de regulă: linia artificială care marchează distanța maximă până la care putem vedea, și ne apare ca locul unde Pământul întâlnește cerul. Înțelegem că această frontieră e efectul curbării Pământului, iar cum lumina călătorește aproximativ în linie dreaptă în apropierea suprafeței Pământului, nu putem vedea ce e dincolo de ea. La fel, orizontul unei găuri negre marchează frontiera dincolo de care nu putem vedea nici un „eveniment". Spre deosebire însă de orizontul Pământului, care se îndepărtează continuu pe măsură ce ne apropiem de el, orizontul evenimentelor e fix, ne putem apropia de el oricât de mult vrem, ba chiar putem trece dincolo de el, dacă avem gânduri sinucigașe.

Toate corpurile au un posibil orizont al evenimentelor, cu o anumită rază Schwarzschild. Până și Pământul poate fi transformat într-o gaură neagră, dar fiindcă n-are suficientă masă pentru a colapsa de la sine, ar trebui comprimat din exterior. Nu mă întrebați cum, eu nu spun decât că, dacă ar fi

comprimat suficient de mult, în cele din urmă ar trece prin propriul său orizont al evenimentelor, căpătând astfel suficient impuls pentru un colaps autoîntreținut. Oricum, raza Schwarzschild a Pământului e mai mică de jumătate de centimetru, ceea ce înseamnă că o gaură neagră conținând tot atâta materie ca planeta noastră ar avea dimensiunea unui bob de mazăre.

Odată ce steaua se contractă dincolo de orizontul evenimentelor, nimic n-o poate împiedica să-și continue colapsul până când întreaga ei masă e concentrată într-un singur punct. Acesta se numește *singularitate* și e într-adevăr o entitate foarte stranie. Atât de stranie, încât legile fizicii care sunt perfect valabile – după câte știm – oriunde în altă parte, descriind comportamentul celor mai mici particule subatomice, dar și comportamentul întregului univers, încetează să mai funcționeze în singularitatea unei găuri negre. Este așadar o ușurare pentru universul din afară faptul că orizontul evenimentelor ne protejează de o asemenea monstruozitate.

Fără un orizont al evenimentelor, cine știe cum ar corupe o singularitate legile fizicii din afara găurii negre. Orizontul e atât de important, încât fizicienii au născocit termenul impresionant de „lege a cenzurii cosmice“, care, speră ei, se aplică pretutindeni în natură. Ea acționează ca un fel de Mary Whitehouse[23] a

cosmologiei, protejând universul de haos, impredictibil și infiniții singularității. Ce spune așadar legea cenzurii cosmice? E destul de simplu: „Să nu ai singularități nude.“ Trebuie totuși ținut cont că această afirmație ironică e doar o ipoteză și că, în anumite scenarii teoretice, s-ar putea să nu fie valabilă. De pildă, unii fizicieni cred că imediat după big bang au fost create găuri negre minuscule, mai mici decât atomii, care s-au evaporat încet printr-un proces numit radiație Hawking (ne vom întâlni cu ea în acest capitol). Unele calcule arată că la sfârșitul evaporării ar putea să fi rămas singularități nude, dar lucrurile sunt departe de a fi lămurite.

Conform ecuațiilor relativității generale, singularitatea este locul unde materia are densitate infinită, spațiul e infinit curbat, iar timpul ajunge la capăt. E foarte răspândită ideea greșită că la orizontul evenimentelor timpul ajunge la capăt, din cauza a ceea ce văd observatorii aflați la distanță când privesc cum ceva cade într-o gaură neagră. Voi reveni la acest subiect, acum însă vreau să mă întorc la singularitatea care marchează sfârșitul timpului.

Vă sună cunoscut? Ar trebui. Exact așa am prezentat big bang-ul, cu deosebirea că el marchează începutul, nu sfârșitul timpului. În rest, cele două cazuri sunt remarcabil de asemănătoare, big bang-ul fiind mama tuturor singularităților – și, pe deasupra, una nudă.

Să ne întoarcem la găurile negre și la interiorul lor care, așa cum e definit de orizontul evenimentelor, este doar spațiu gol, cu excepția singularității din centrul ei (și a materiei capturate de gaură, care cade în ea). Motivul pentru care singularitatea are densitate infinită poate fi înțeles dacă ne gândim cum calculăm densitatea: este raportul dintre masa și mărimea obiectului. Dacă un obiect de masă oarecare are dimensiune zero, pentru a-i determina densitatea trebuie să împărțim un număr nenul la zero. Vă rog să mă credeți că e un lucru tare neplăcut în matematică. Încercați și voi, împărțiți orice număr la zero cu calculatorul vostru de buzunar. Al meu afișează simbolul „E“, adică „eroare“, căci un biet calculator nu se poate descurca cu infinitul. Dar nici computerul meu puternic pe care-l folosesc în cercetare la universitate. Dacă întâlnește o împărțire la zero, programul rulat se blochează – și are amabilitatea să-mi spună că există o problemă în cod. Se dovedește însă că singularitatea nu-i chiar atât de nesuferită. Dacă aplicăm regulile mecanicii cuantice, așa cum trebuie să facem la acest nivel, are o dimensiune *nenulă* extrem de mică (mult mai mică decât un atom). Multe detalii ale fizicii rămân nelămurite, fiindcă deocamdată nu știm să aplicăm simultan regulile mecanicii cuantice și pe cele ale relativității generale.

Structura unei găuri negre e așadar foarte simplă. Are un centru (singularitatea) și o suprafață (orizontul evenimentelor). Tot restul e gravitație. Ceea ce fascinează la găurile negre este modul în care imensa lor gravitație influențează spațiul (și timpul[24]) din vecinătate.

O GAURĂ CARE NU POATE FI NICIODATĂ UMPLUTĂ

Am prezentat până acum formarea unei găuri negre prin colaps gravitațional, dar știm că Einstein a descris gravitația prin curbura spațiului, așa încât gaura neagră poate fi privită și din această perspectivă. Să ne întoarcem la exemplul din capitolul 3: un obiect greu plasat în mijlocul unei foi de cauciuc, care se deformează sub greutatea obiectului. Adâncitura din foaie este echivalentul curbării spațiului sub influența unui corp masiv. Cu cât masa corpului e mai mare, cu atât adâncitura crește. O gaură neagră corespunde cazului în care un obiect foarte greu, dar punctiform, face ca foaia de cauciuc (spațiul) să se curbeze și să se întindă formând o gaură conică infinit de adâncă (figura 4.1). Aici, orizontul evenimentelor corespunde unui cerc aflat undeva în interiorul prăpastiei fără fund, dincolo de care nimic nu poate evada.

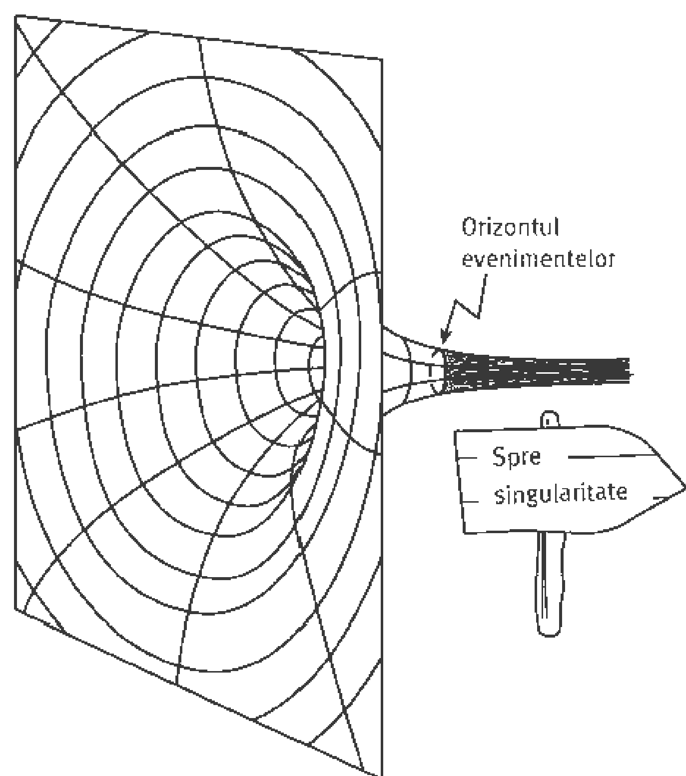


Figura 4.1 O gaură neagră în spațiul 2D.

Pe baza acestei imagini simple putem face două observații foarte interesante. Mai întâi, o gaură neagră nu poate fi niciodată astupată sau umplută cu materie. Cu cât turnăm mai multă materie într-o gaură neagră, cu atât aceasta devine mai mare. Se hrănește și crește.

Apoi, dimensiunea găurii negre, dată de volumul din interiorul orizontului evenimentelor, e doar o mărime pe care o vede un observator extern. De pildă, o gaură neagră formată prin colapsul unei stele având o masă de zece ori mai mare decât Soarele va avea o rază Schwarzschild de 30 de kilometri, deci gaura neagră va fi cam de dimensiunea unui oraș mare. Desigur, un observator extern nu poate vedea dincolo de orizontul evenimentelor, deci nu știm cum arată lucrurile în interior. Dar dacă spațiul dinăuntrul orizontului formează o groapă infinit de adâncă, atunci distanța de la

orizont la singularitate trebuie să fie și ea infinită. În realitate, după cum voi arăta mai târziu, dacă ai cădea într-o gaură neagră, ai ajunge în scurt timp la singularitate, fiindcă spațiul și timpul au un comportament straniu în interiorul orizontului, și nu putem folosi reguli simple, cum e cea care spune că viteza e spațiul împărțit la timp.

Din exterior, toate găurile negre de aceeași masă arată identic, și nu vom putea afla niciodată ce tip de obiect (ca să nu mai vorbim de compoziția lui chimică) a creat gaura neagră. Toată acea informație a dispărut pe veci din universul nostru. William J. Kaufmann explică acest lucru limpede în excelenta sa carte *Universe*. El consideră două găuri negre ipotetice: una produsă de colapsul gravitațional a zece mase solare de fier, cealaltă de zece mase solare de unt de arahide. Odată ce au colapsat dincolo de orizonturile evenimentelor, ele devin identice, iar noi nu mai putem spune din ce substanță au fost formate.

O idee greșită, larg răspândită, despre găurile negre spune că în cele din urmă ele vor înghiți totul din univers. Nu-i adevărat. Gravitația se comportă relativist într-o regiune unde predicțiile lui Einstein se deosebesc radical de cele ale lui Newton. De pildă, o gaură neagră cu raza Schwarzschild de 30 de kilometri va determina un comportament relativist în jurul ei doar până la o distanță de o mie de kilometri.

Dincolo de această distanță, gaura neagră se supune legilor mai curând banale ale gravitației newtoniene, comportându-se ca o stea normală, având acea masă, în felul în care influențează mișcarea obiectelor îndepărtate.

GĂURI NEGRE ÎN ROTAȚIE

Am vorbit până acum doar despre cel mai simplu tip de găuri negre, descris de soluția lui Schwarzschild la ecuațiile lui Einstein – un scenariu idealizat. O gaură neagră reală se și învârte. Știm că stelele se rotesc în jurul axei proprii la fel ca Pământul, așadar, atunci când colapsează, se rotesc și mai repede. Să vedem pe scurt de ce se întâmplă așa.

O mărime importantă în fizică este *momentul cinetic*, el caracterizează toate obiectele aflate în rotație. E important pentru că este una dintre acele mărimi care, la fel ca energia, se *conservă*, adică nu se schimbă, cu condiția ca obiectul în rotație să nu fie supus unei forțe externe. Momentul cinetic depinde de masa obiectului, de viteza cu care se rotește și de forma lui. Gândiți-vă la o patinatoare care se învârte cu brațele întinse. Când își apropie brațele de corp și le strânge la piept, se învârte mai repede. Motivul este că momentul ei cinetic trebuie să rămână constant – ignorând frecarea patinelor cu gheața –, iar apropiindu-și brațele de corp își modifică forma, ceea ce ar duce la scăderea

momentului cinetic, dacă asta ar fi tot ce se întâmplă. Pentru a compensa această scădere și a menține constant momentul cinetic, patinatoarea se va învârti însă mai repede. Creșterea vitezei de rotație are loc automat. La fel se comportă și o stea care se rotește în jurul axei sale atunci când colapsează: reducerea dimensiunii ei trebuie contrabalansată de creșterea vitezei de rotație pentru a menține același moment cinetic. De aceea pulsarii (stelele neutronice aflate în rotație, despre care am vorbit în capitolul 3) se învârt atât de repede.

Conform gravitației lui Newton, nu există vreo diferență între efectele gravitaționale ale unui obiect sferic care se învârte și ale unuia care nu se învârte (dacă nu cumva oscilează în timp ce se învârte). Și în acest caz, relativitatea generală ne spune altceva. O gaură neagră care se învârte antrenează la propriu spațiul din jurul ei pentru a forma un vârtej gravitațional, așa cum apa se rotește în jurul unui orificiu de scurgere. Aflat într-o asemenea regiune a spațiului, un corp va trebui să accelereze în direcție opusă direcției de rotație a găurii negre pentru a rămâne în repaus. Acest rezultat straniu ne oferă un mijloc de a măsura viteza cu care se rotește o gaură neagră. Viteza de rotație și masa ei (din care îi putem deduce dimensiunea) ne sunt de ajuns pentru a descrie o gaură neagră.[25] Pentru a măsura viteza de rotație a unei găuri

negre, trebuie să plasăm doi sateliți orbitând în jurul ei în direcții opuse. Cum satelitul orbitând în direcție opusă direcției de rotație a găurii negre se deplasează „împotriva curentului“ spațiului antrenat în mișcare, el va parcurge întreaga orbită într-un timp mai lung și, acoperind mai mult spațiu, va călători mai mult. Diferența dintre timpii de parcurgere a unei orbite întregi în cazul celor doi sateliți ne dă viteza de rotație a găurii negre.

Această regiune în care spațiul e antrenat în jurul unei găuri negre aflate în rotație se numește *ergosferă*. O gaură neagră rotitoare va avea așadar două orizonturi: unul interior, sferic, acel orizont al evenimentelor din care nimic nu poate scăpa, și unul exterior, ușor umflat la ecuator, care marchează suprafața ergosferei (figura 4.2). Înăuntrul ergosferei antrenarea e atât de puternică încât nimic nu poate rămâne în repaus. Un obiect care cade în ergosferă poate totuși scăpa atâta timp cât nu intră în orizontul evenimentelor.

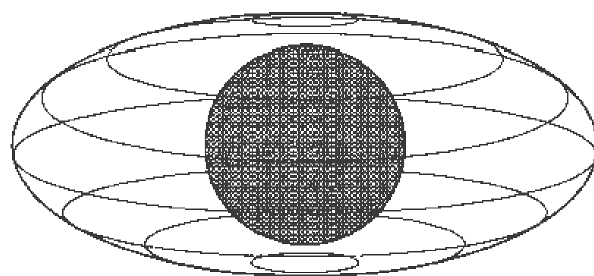


Figura 4.2 Ergosfera din jurul orizontului evenimentelor unei găuri negre în rotație.

SĂ CAZI ÎNTR-O GAURĂ NEAGRĂ

Unul dintre aspectele cele mai fascinante legate de găurile negre este ce se întâmplă cu obiectele sau cu astronauții sinucigași atunci când cad în ele, în raport cu felul în care arată lucrurile pentru un observator extern aflat la o distanță sigură. Să ne gândim cum ar fi dacă ai avea ghinionul să cazi într-o gaură neagră.

O trăsătură a gravitației pe care n-am menționat-o până acum este forța mareică. Știm că atracția gravitațională a unui corp scade pe măsură ce ne îndepărtăm de el. Ca atare, atunci când stai pe sol, gravitația Pământului atrage picioarele tale mai puternic decât atrage capul, aflat mai departe de sol. Diferența e însă atât de mică încât n-o resimți. Pe de altă parte, vedem clar efectele mareice ale gravitației Lunii asupra Pământului: partea Pământului orientată spre Lună simte o atracție gravitațională mai puternică decât partea opusă, iar cum Pământul se rotește în jurul axei proprii, apar mareele zilnice – de unde numele forței mareice.

Când e vorba de găurile negre, forța gravitațională variază mult mai mult, ceea ce face să simți efectul mareic chiar și pe lungimea corpului tău. Acesta devine insuportabil, și te va rupe în bucăți cu mult înainte să fii strivit în singularitate.

O gaură neagră mică, de ordinul câtorva mase solare, produce forțe mareice atât de mari, încât orice astronaut care se apropie prea mult de ea va fi ucis cu mult înainte să treacă prin

orizontul evenimentelor. Nu-i prea încurajator, dacă speri să ai ocazia măcar să te apropii nevătămat de orizont. Din fericire, avem motive întemeiate să credem că există găuri negre cu mase de milioane de ori mai mari decât masa Soarelui. La asemenea găuri negre supermasive forțele mareice sunt mult mai blânde, și ai putea traversa orizontul evenimentelor fără să simți ceva neplăcut. Pe măsură ce te vei apropia de singularitate, forțele mareice vor crește treptat. Așadar, deși în cele din urmă vei fi sfârtecat, iar apoi vei fi strivit până la un punct de densitate infinită, ai putea măcar vedea ce se întâmplă până atunci.

Chiar dacă mi-am propus să amân discutarea efectului gravitației asupra timpului pentru secțiunea următoare, ajuns în acest punct, mă văd silit să-mi încalc hotărârea. În interiorul unei găuri negre, spațiul și timpul sunt atât de puternic deformate, încât distanța de la orizontul evenimentelor la singularitate nu e o distanță în spațiu în sens normal (nu poate fi măsurată în kilometri sau vreo altă unitate de lungime), ci devine o direcție a timpului. Simplu spus, distanța radială până la centrul găurii e înlocuită cu axa timpului. Dar stai puțin, v-ați putea gândi, până acum am vorbit de dimensiunea găurilor negre dată de raza Schwarzschild, care, evident, se măsoară în unități de lungime. Diferența este că raza Schwarzschild e o rază privită *din afara găurii*.

Să ne închipuim că o gaură neagră e observată pe un fond luminos, cum ar fi o nebuloasă gazoasă strălucitoare, care pune clar în evidență orizontul ei întunecat. Diametrul acestui disc negru e dublul razei Schwarzschild. Odată însă ce intrăm în gaura neagră, lucrurile arată altfel.

Această înlocuire a spațiului cu timpul explică de ce orice obiect care cade într-o gaură neagră e obligat să se deplaseze spre singularitate. Pentru fizicieni, asta seamănă cu înaintarea noastră implacabilă în timp spre viitor. Mai mult, cum odată ajuns la singularitate nu poți merge mai departe, acest punct trebuie să marcheze sfârșitul timpului însuși! Aici se deosebesc găurile negre de big bang – o singularitate care marchează *începutul* timpului. Ele seamănă mai curând cu singularitatea big crunch (cea care marchează sfârșitul spațiului și timpului, presupunând că există în univers suficientă materie pentru a-l face să colapseze).

Măsurat de cineva care cade în gaura neagră, timpul în care ajunge de la orizont la singularitate e proporțional cu masa găurii negre. Pentru o gaură de zece mase solare, ar dura doar o zecime de miime de secundă până ajungi la singularitate, în vreme ce pentru o gaură neagră supermasivă ar dura câteva minute.

O întrebare pusă adesea este dacă un astronaut care cade prin orizontul evenimentelor

unei găuri negre observă că se întâmplă ceva (presupunând că gaura e suficient de mare pentru ca astronautul să supraviețuiască forțelor mareice). Răspunsul este nu. Singurul mod de a afla că ai trecut de orizont e să încerci să-ți oprești căderea și să te întorci, punând în funcțiune motoarele care să te împingă departe de centrul găurii negre. Conform astrofizicianului rus Igor Novikov, un alt aspect straniu al găurilor negre și o consecință a felului în care timpul e deformat este faptul că, încercând s-o faci (punând în funcțiune motoarele ca să te îndepărtezi de gaură), vei ajunge la singularitate mai repede decât dacă ai lăsa motoarele stinse!

Pare contraintuitiv, dar iată cum explică Novikov efectul. Să ne amintim că, fără să declanșezi motoarele, te afli în cădere liberă și nu simți vreo forță gravitațională (desigur, cu excepția forțelor mareice). Punând în funcțiune motoarele, vei simți o forță de accelerație în sus, și, conform principiului echivalenței, e ca și cum ai simți efectul unui câmp gravitațional. Însă, din cauza felului în care spațiul și timpul se amestecă în interiorul unei găuri negre, vei continua să cazi *în același ritm* ca înainte, numai că acum timpul tău se va scurge mai lent. Intervine aici *dilatarea gravitațională a timpului*, despre care vom vorbi în capitolul 7. Asta face ca o cădere de la orizont la

singularitate care altminteri ar fi durat, să spunem, zece secunde, poate să pară acum că durează doar cinci secunde. Ciudat!

Scriind acest capitol, i-am spus soției mele Julie că am ajuns la partea în care descriu interiorul unei găuri negre. „Foarte întunecat, bănuiesc“, a fost replica ei laconică. De fapt, nu e complet întunecat, fiindcă lumina din universul exterior continuă să sosească. Diferența este că lumina e curbată și focalizată într-o mică pată strălucitoare. Ar fi ca lumina de la capătul unui tunel întunecos prin care înaintezi.

Să ne gândim acum ce vede un observator îndepărtat când un obiect cade într-o gaură neagră care, pentru a simplifica lucrurile, presupunem că nu se rotește. Să zicem că te afli într-o navă spațială plutind la o distanță sigură în afara orizontului evenimentelor. Îl vezi pe un coleg al tău plutind spre orizont. În loc să-l vezi căzând tot mai repede până când dispare brusc prin orizont, ritmul căderii lui pare să încetinească tot mai mult pe măsură ce se apropie de orizont, până când, în cele din urmă, se oprește, îngheață, în imediata apropiere a orizontului. Această aparentă încetinire a căderii obiectului se datorează felului în care gravitația influențează ritmul curgerii timpului. Timpul e într-adevăr încetinit în câmpurile gravitaționale, ceea ce e cu atât mai pregnant în câmpul intens din jurul unei găuri negre.

Dacă astronautul a calculat că va trece prin orizontul evenimentelor exact la ora douăsprezece, după ceasurile pe care vi le-ați sincronizat în prealabil, atunci, folosindu-te de un telescop puternic, poţi observa timpul indicat de ceasul lui când astronautul cade. Vei vedea că acele ceasului lui încetinesc pe măsură ce se apropie de orizont, iar în cele din urmă se opresc exact la ora douăsprezece. De fapt, la orizont, timpul se oprește. Uneori se spune (greșit) că l-ai vedea pe astronaut înghețat pe veci în afara orizontului. De fapt, imaginea lui se va estompa rapid și va dispărea. Asta nu se datorează faptului că l-ai „văzut“ căzând prin orizont. Lumina care ajunge de la el la tine e însă deplasată spre roșu către lungimi de undă care ies rapid din spectrul vizibil. Această deplasare spre roșu nu e chiar aceeași cu cea datorată efectului Doppler provocat de îndepărtarea galaxiilor. Apare aici un efect suplimentar: încetinirea timpului în apropierea orizontului face ca lumina să pară că are o frecvență mai scăzută, deci o lungime de undă mai mare, deplasată spre roșu. Dar pentru astronautul aflat în cădere timpul se scurge în alt ritm, iar, conform calculelor lui, cade tot mai repede spre gaură.

SĂ VEZI O GAURĂ NEAGRĂ

V-ați putea gândi că tot ce am spus eu despre încetinirea timpului, deplasarea cu viteza luminii, întinderea unui astronaut asemenea unor spaghete și strivirea lui până la dimensiune zero și densitate infinită e SF. În fond, nimeni n-a stat față în față cu o gaură neagră reală, iar toate aceste concluzii se întemeiază pe speculații teoretice.

În ciuda predicțiilor teoretice, până în anii 1960, pentru majoritatea astronomilor era greu de crezut că există într-adevăr găurile negre. Progresele radioastronomiei și ale astronomiei bazate pe raze X, precum și câteva descoperiri excepționale din anii 1960 – radiația cosmică de fond (care a confirmat teoria big bang), quasarii, pulsarii – au făcut ca brusc găurile negre să nu mai pară o fantasmagorie. În paralel, numeroasele progrese teoretice în fizica găurilor negre din anii 1960 și 1970 i-au determinat, în anii 1980, pe astronomi să creadă cu o probabilitate de, să zicem, 90% că găurile negre chiar există.

Vi se pare pesemne că un nivel de încredere de 90% nu-i suficient, însă din fericire pentru fanii găurilor negre, ca mine, în anii 1990 au apărut și alte dovezi, așa încât acum nu prea mai există dubii. Aș spune că nivelul actual de încredere este de 99%. Care sunt așadar aceste dovezi? La urma urmei, prin definiție, o gaură neagră e neagră, și atunci cum poate fi distinsă pe fondul întunecat al spațiului? Chiar dacă s-ar

întâmpla ca în spatele ei să se afle o nebuloasă strălucitoare, nu uitați că, la scară astronomică, o gaură neagră e foarte mică, deci e greu să fie observată chiar și de cele mai puternice telescoape.

Secretul unei posibile detecții (care, surprinzător, fusese dezvăluit încă de acum două sute de ani de John Michell) se leagă de influența găurii negre asupra materiei vizibile din vecinătatea ei. O proprietate a stelelor, pe care n-am menționat-o, este că cele mai multe dintre ele apar în perechi sau sisteme binare. Stelele izolate precum Soarele sunt în minoritate. Stelele binare orbitează una în jurul celeilalte, sau, mai corect, în jurul centrului lor comun de masă (un punct imaginar de pe segmentul care le unește, și care îl împarte în două segmente invers proporționale cu masele stelelor). Dacă stelele au aceeași masă, ele vor avea aceeași rază orbitală, fiindcă centrul lor de masă se află la jumătatea distanței dintre ele, însă dacă o stea e mult mai grea decât cealaltă, ea doar se va clătina puțin, în vreme ce steaua mai ușoară se va deplasa mult în jurul ei, pentru că centrul de masă e mult mai aproape de steaua mai mare.

Dacă una din stele e suficient de mare pentru a colapsa într-o gaură neagră, atunci, deși a devenit invizibilă, efectul ei gravitațional asupra partenerei va fi același. Observați că ele nu se află suficient de aproape pentru ca partenera să

fie înghițită de gaura neagră, fiindcă altminteri de mult stelele ar fi fost atrase una spre alta dacă ar fi fost atât de aproape (ceea ce nu înseamnă însă că gaura neagră nu va înghiți o parte din gazul de la suprafața partenerei).

Ar trebui teoretic să putem observa „oscilațiile“ din mișcarea stelei care rămâne vizibilă, iar de aici să deducem masa necesară pentru a provoca această mișcare a ei. În fond, stelele singure nu efectuează fără motiv asemenea oscilații, care trebuie să fie provocate de o imensă concentrare de masă în vecinătatea ei. Recent s-a descoperit că o infimă oscilație a poziției unei stele s-ar putea datora planetelor orbitând în jurul ei, care nu pot fi văzute direct. Din masa stelei și din amploarea oscilației putem totuși deduce masa partenerei invizibile. Dacă e mai mare decât, să zicem, zece mase solare (pentru a ne lua o marjă de siguranță), atunci ar trebui să fie o gaură neagră.

După cum puteți bănui, oscilația nu e detectată prin măsurarea mișcării laterale (perpendiculară pe linia noastră vizuală), ci din modificarea lungimii de undă a luminii emise de stea când, în mișcarea pe orbita ei, se apropie și se îndepărtează de noi. Este vorba iarăși de efectul Doppler. Lungimea de undă e comprimată (către capătul albastru al spectrului) când steaua se apropie de noi, și e întinsă (către capătul roșu al spectrului) când se îndepărtează. Nu contează în ce direcție se deplasează

sistemul binar în ansamblul său, fiindcă ceea ce observăm e *modificarea* lungimii de undă. Din rata de modificare a lungimii de undă, la care se adaugă și alte informații, putem deduce perioada mișcării orbitale, deci masa partenerei invizibile.

În teorie pare o soluție ingenioasă, dar în practică nu-i chiar așa simplu. Pot exista și alte motive pentru care nu vedem decât o stea dintr-un sistem binar. Cea mai simplă explicație este că cealaltă stea e prea mică și prea palidă, iar astfel e pusă în umbră de companionul ei mai strălucitor, care ar putea fi o pitică albă sau chiar o stea neutronică. Ar trebui arătat că masa ei este mult deasupra valorii critice pentru o gaură neagră (să zicem, zece mase solare), dar nici măcar asta nu-i o dovadă certă că e vorba de o gaură neagră. „«Invizibilitatea» e o slabă dovadă pentru existența a ceva“, spune Novikov, care citează o veche glumă despre titlul unei lucrări de cercetare științifică: „Absența stâlpilor de telegraf și a cablurilor în săpăturile arheologice ca dovadă a dezvoltării comunicațiilor radio la civilizațiile antice.“

Dovada finală a existenței găurilor negre în sistemele stelare binare se leagă de un fenomen pe care l-am pomenit deja. Dacă cele două partenere (steaua mare care încă strălucește și candidata invizibilă la titlul de gaură neagră) sunt suficient de apropiate, atunci câmpul gravitațional extrem de intens al găurii negre va

absorbi treptat gazul din pătura externă a stelei mai mari. Gazul se va deplasa în spirală spre orizontul evenimentelor, încălzindu-se pe măsură ce e accelarat și formând un disc de acreție în jurul găurii negre. Materia din acest disc e atât de fierbinte încât, înainte de a fi absorbită, va lansa un semnal de neconfundat: emisii puternice de raze X, adică erupții de radiație electromagnetică la energii înalte. Acestea se deosebesc de emisiile de raze X produse de rotația rapidă a pulsarilor (stele neutronice) în jurul axei proprii. În cazul discului de acreție al unei găuri negre, emisiile au loc la intervale de timp aleatorii, în vreme ce pulsarii emit raze X la intervale regulate, determinate de mișcarea lor de rotație în jurul axei proprii.

Există asemenea sisteme binare care emit raze X? Răspunsul este da. Exemplul cel mai celebru l-a convins în cele din urmă pe Stephen Hawking (împotriva voinței lui, pentru că pusese un pariu cu Kip Thorne) că trebuie să conțină o gaură neagră. Se numește Cygnus X-1, și se află la vreo șase mii de ani-lumină de Pământ, dar în Galaxia noastră. Partenera vizibilă e o stea gigantică de vreo 30 de mase solare (după cum reiese din lumina emisă). Studiind felul în care oscilează (din deplasarea Doppler periodică), s-a determinat că masa partenerei invizibile este de aproximativ zece mase solare.[26] Dovada finală a fost adusă de

faptul că discul de acreție emite raze X cu o frecvență de câteva sute de ori pe secundă, ceea ce ne spune cât de repede orbitează gazul în jurul găurii. Din moment ce nimic nu se poate deplasa mai repede decât lumina, această frecvență ne dă o dimensiune maximă pentru orbită, și sugerează că gaura trebuie să fie mult mai mică decât Pământul. Dacă zece mase solare sunt comprimate într-un volum atât de mic, înseamnă că e vorba de o gaură neagră: legile fizicii ne spun că nu poate fi altceva.

Există și alți candidați la statutul de gaură neagră printre sistemele binare emițând raze X, în Galaxia noastră și în galaxiile din vecinătate. Se estimează că doar Galaxia noastră conține milioane de găuri negre!

Am vorbit până acum despre găuri negre comune, formate atunci când o stea masivă colapsează sub propria-i greutate. Există însă și un alt tip de găuri negre, mult mai impresionante. Printre descoperirile importante din anii 1960 a fost și aceea a *quasarilor* (de la *quasi-stellar radio sources* – surse radio cvasi-stelare). *Cvasi-stelar* se leagă de faptul că se crede că sunt asemănători stelelor, din moment ce apar ca obiecte punctiforme, și nu ca pete luminoase, cum ne apar galaxiile și nebuloasele. Și ei emit radiații puternice în banda de frecvențe radio – și nu pentru că s-ar afla acolo stații radio, așa cum îmi închipuiam în copilărie, când am citit prima dată despre ei. Doar o mică

parte din quasarii descoperiți în prezent sunt surse radio, dar numele a rămas. Quasarii sunt mult mai mari decât stelele, iar acesta e lucrul cu adevărat important. De fapt, sunt cele mai îndepărtate obiecte din universul nostru vizibil, unii aflându-se la o distanță de peste zece miliarde de ani-lumină (ceea ce înseamnă că, atunci când lumina lor a fost emisă, universul era foarte tânăr). Dacă obiecte atât de îndepărtate sunt atât de strălucitoare, ele trebuie să conțină extrem de multă energie. Quasarii credem că sunt tinere galaxii „active“ a căror energie (de vreo mie de ori mai mare decât producția de energie a tuturor stelelor din Galaxia noastră) provine dintr-un minuscul nucleu central. Acest nucleu conține ceea ce numim o gaură neagră supermasivă. De regulă, asemenea găuri negre au mase de milioane de ori mai mari decât masa Soarelui.

De când s-a descoperit că interiorul quasarilor ascunde găuri negre gigantice, se crede că multe galaxii mari trec probabil printr-o fază de quasar înainte de a se stabiliza. Însă, chiar dacă nu se întâmplă așa, ele tot ar putea conține găuri negre supermasive în centrul lor. Acestea s-ar fi putut forma prin acumularea unor imense cantități de gaz stelar în centrele dense ale galaxiilor. Gaura neagră din Andromeda are o masă de aproximativ 30 de milioane de mase solare și o rază depășind dimensiunea sistemului nostru solar. Gaura

neagră din Galaxia noastră e ceva mai mică, masa ei este de doar câteva milioane de mase solare. Odată formată o gaură neagră supermasivă, ea se va hrăni treptat cu stelele din apropiere și va crește.

TOTUȘI, NU CHIAR ATÂT DE NEAGRĂ

În 1974, Stephen Hawking a descoperit că, privite din afară, găurile negre nu sunt chiar complet negre. El și-a dat seama că un proces cuantic numit *creare de perechi* poate face ca o gaură neagră să-și disipeze foarte lent energia în spațiu, micșorându-se treptat până când explodează și nu mai rămâne nimic. Prin urmare, nu-i adevărat că ceea ce cade într-o gaură neagră nu mai iese niciodată. În cele din urmă va fi emis în spaţiu în cursul unei perioade care practic poate fi considerată că durează la nesfârșit.

Procesul se numește *radiație Hawking* și necesită o mică explicație. În lumea subatomică, două particule, cum ar fi un electron și particula lui de antimaterie[27] (un *pozitron*), pot apărea spontan din nimic. Mecanica cuantică spune că e permis, cu condiția ca cele două particule să se recombine foarte rapid, într-un proces numit *anihilare de perechi*, pentru a restitui energia de care au avut nevoie la început. Știu că pare absurd. De fapt, ar trebui să fie absurd, dar multe lucruri stranii se întâmplă în lumea

mecanicii cuantice. Vă puteți întreba de unde provine energia pentru a crea particulele. Răspunsul este că energia poate fi „împrumutată de nicăieri“ și trebuie restituită către „nicăieri“ foarte repede, fiindcă naturii nu-i place să fie datoare pentru multă vreme. Hawking a înțeles că, atunci când o pereche de particule e creată foarte aproape de orizontul evenimentelor unei găuri negre, particula sau antiparticula ar putea cădea în gaură, iar perechea ei ar putea scăpa. Odată ce nu se mai poate anihila cu prietena ei, i se permite, asemenea lui Pinocchio, să capete o existență reală. Energia pe care a păstrat-o și n-o mai poate restitui a provenit de la însăși gaura neagră.

Radiația Hawking e un fenomen care se petrece continuu în imediata vecinătate a orizontului găurilor negre, dar numai într-un număr foarte mic de cazuri una din particule va evada. De cele mai multe ori ambele particule vor cădea în gaura neagră. Forțele mareice fac ca uneori o particulă să scape: particula care se află ceva mai aproape de orizont e atrasă mult mai puternic spre el.

Pentru găurile negre de dimensiuni obișnuite, procesul poate fi complet ignorat, fiindcă mult mai multe particule sunt absorbite din spațiul din jurul orizontului decât sunt pierdute prin radiație Hawking. Efectul devine semnificativ doar atunci când o gaură neagră a scăzut până la dimensiuni microscopice (după un timp mai

lung decât cel scurs de la nașterea universului), când regiunea din exteriorul orizontului se încălzește, iar radiația devine foarte intensă. Contractarea găurilor negre se explică prin faimoasa ecuație a lui Einstein $E = mc^2$, care ne spune că masa (m) și energia (E) sunt interșanjabile, iar una poate fi transformată în cealaltă. Procesul se petrece aici de două ori. Mai întâi, particula care evadează a căpătat masă (substanță) transformată din energia pură extrasă de la gaura neagră. Apoi, pierzând această energie prin crearea unei particule, gaura neagră însăși trebuie să producă acea energie cedând o parte infimă din propria-i masă. Privind din afară, am spune că gaura neagră a ejectat o particulă. Orizontul ei este încălzit de iradierea acestor particule. Însă doar în jurul găurilor negre minuscule acest proces e semnificativ.

S-a sugerat că asemenea mini găuri negre ar exista în realitate. Ele ar fi fost create imediat după big bang, iar unele ar fi supraviețuit până în prezent. De pildă, dacă Everestul ar fi comprimat până la dimensiunea unui atom, ar fi transformat într-o asemenea mini gaură neagră. Atunci, ar emite radiație Hawking cu o rată foarte mare. Chiar și așa însă, s-ar evapora complet abia după multe miliarde de ani. Cum vârsta universului este de vreo 14 miliarde de ani, mini găurile negre având masa Everestului care vor fi fost create la începutul universului ar

fi pe punctul de a se evapora complet. Ele emit radiație cu o rată tot mai mare pe măsură ce se contractă, iar în cele din urmă ar trebui să explodeze emițând radiație de energie înaltă. Ei bine, astronomii se află în căutarea unor asemenea emisii violente de radiație care ar fi dovada existenței mini găurilor negre.

S-ar putea și ca energia găurilor negre să fie extrasă artificial. În acest caz, ar fi exploatată energia de rotație. Încă înainte ca Hawking să descopere procesul de evaporare, Roger Penrose – un matematician și fizician englez, vechi colaborator al lui Hawking – a lansat ideea că, dacă un obiect intră în ergosfera unei găuri negre în rotație și se scindează în două părți, una din ele căzând în gaură, atunci cealaltă parte poate fi ejectată cu mai multă energie decât energia obiectului inițial. Energia dobândită provine de la gaura neagră, a cărei rotație va fi ușor încetinită.

S-ar putea ca o civilizație avansată care întâlnește o gaură neagră să utilizeze această metodă pentru a o transforma în sursă de energie.

GĂURI ALBE

Unele soluții ale ecuațiilor relativității generale permit existența nu doar a găurilor negre, ci și a unor obiecte numite găuri albe. Se dovedește însă că existența lor e posibilă doar dacă

universul a avut anumite proprietăți, numite *condiții inițiale*, la momentul big bang-ului. Aceste obiecte ipotetice sunt opusul găurilor negre în sensul că, în loc să absoarbă, ele aruncă materie și energie în univers. Și singularitățile lor ar fi diferite, ele ar marca începutul, nu sfârșitul timpului. Spre deosebire însă de cazul găurilor negre, nu există dovezi că găurile albe ar exista în realitate. Una dintre probleme este că materia care ar fi ejectată de ele ar putea cădea înapoi, iar o gaură albă s-ar transforma rapid într-o gaură neagră.

Se crede acum că nu există găuri albe mari în univers, dar regulile mecanicii cuantice privitoare la particule și antiparticule sugerează că, dacă există mini găuri negre la scară subatomică, ar trebui să existe și partenerele lor: mini găuri albe. Hawking a arătat că, la fel cum pot apărea pentru scurt timp perechi particulă/antiparticulă grație incertitudinii cuantice, ar putea apărea brusc de nicăieri și perechi gaură neagră/gaură albă. Dar nu vă faceți griji, ar fi prea mici pentru a avea vreo influență asupra noastră.

---

21. Nu-ți face griji dacă n-ai. (*N. a.*)

22. Nu-ți face griji dacă ai înclinații matematice, dar nu-ți pui întrebarea asta. (*N. a.*)

23. Mary Whitehouse este secretarul onorific al Asociației Naționale a Telespectatorilor și Radioascultătorilor din Regatul Unit, și ani de-a

rândul a militat pentru „curățarea“ mediilor de informare și restaurarea unei perspective „echilibrate“ asupra sexului în programe destinate întregii familii. (*N. a.*)

24. Pasionații de relativitate și găuri negre s-ar putea întreba de ce am evitat să vorbesc despre timp și despre felul în care e influențat de gravitație, conform lui Einstein. Știu bine că abordarea tradițională a fizicii găurilor negre are loc în cadrul unitar al curbării spațiului și timpului. Mi-ar fi foarte greu să descriu ce s-ar întâmpla dacă am cădea într-o gaură neagră fără să vorbesc despre felul în care e modificată percepția noastră asupra timpului. Noțiunea de timp a fost însă în asemenea măsură revoluționată de Einstein, încât e nevoie de o introducere atentă și treptată pentru nefizicieni. Voi amâna așadar pe cât posibil discuția privind natura timpului în interiorul și în exteriorul găurilor negre. (*N. a.*)

25. Putem măsura și sarcina electrică a unei găuri negre, dar ea va fi foarte mică și e doar de interes teoretic. În practică, o gaură neagră încărcată electric va fi până la urmă de fiecare dată neutralizată prin absorbirea particulelor de sarcină opusă. (*N. a.*)

26. Nu suntem siguri de această estimare, și există încă o mică probabilitate să fie vorba de o stea neutronică masivă, la limita inferioară a masei pe care o poate avea. (*N. a.*) [Estimări ulterioare dau valoarea de 14-16 mase solare.] (*N. t.*)

27. O idee greșită larg răspândită este aceea că antiparticulele au masă negativă, așa încât anulează masa pozitivă a particulelor corespunzătoare. Nu e

cazul. Antimateria are același tip de masă, și e influențată de gravitație la fel ca materia normală. Prefixul „anti“ se leagă de faptul că aceste particule au sarcină electrică opusă (mai există și alte diferențe). Cum electronii au sarcină negativă, pozitronii au sarcină pozitivă. Se întâmplă că universul nostru conține mult mai mulți electroni decât pozitroni. (*N. a.*)

PARTEA A II-A
Timpul

5
Timpurile se schimbă

Timpul este modul prin care natura evită ca totul să se petreacă deodată. — JOHN A. WHEELER

Timpul e doar o nenorocire după alta. — ANONIM

Un străin la Londra: „Vă rog, ce e timpul?“[28]
Un trecător: „Asta-i o întrebare filozofică.
De ce mi-o puneți tocmai mie?“
— J.G. WITHROW

CE ESTE TIMPUL?

Să lămurim de la bun început un lucru: indiferent ce ați citit sau auzit, nimeni nu înțelege ce este cu adevărat timpul. S-a scris atât de mult despre natura timpului, mai ales în ultimii ani, încât e greu să spui ceva ce nu s-a mai spus. Oricum, nu asta urmăresc eu aici. Nu simt că ar trebui să pescuiesc de prin numeroasele cărți excelente (și din altele nu

prea grozave) care s-au ocupat de subiectul timpului – deși am citit destule de-a lungul anilor – pentru a veni cu o nouă „perspectivă“ sau cu vreun argument isteț, nefolosit până acum: teoria mea asupra timpului. Desigur, o mare parte din ce s-a scris despre timp e absurd, dar sunt multe lucruri care, deși la prima vedere par absurde, capătă sens odată ce ești pregătit să reflectezi la ele.

Am spus la începutul cărții că subiectul timpului m-a fascinat din copilărie, și continuă să mă fascineze. Nu sunt un caz singular, probabil că la fel se întâmplă cu majoritatea oamenilor. Trist e că nu m-am apropiat mai mult decât în copilărie de înțelegerea semnificației timpului. Înțeleg felul în care multe legi ale fizicii conțin în mod fundamental timpul, am auzit o mulțime de argumente filozofice despre curgerea timpului, direcția timpului, despre caracterul lui real sau doar iluzoriu, ca un construct al imaginației umane. Și totuși, nu m-am lămurit.

Un lucru e însă cert. La fel ca în mare parte din ce am văzut până acum, teoriile lui Einstein de la începutul secolului XX au răsturnat vechile noțiuni. Despre relativitatea timpului voi vorbi în următorul capitol. Deocamdată, voi prezenta câteva idei din fizică și filozofie despre natura timpului, majoritatea lor apărând cu mult înainte de Einstein.

CINE A INVENTAT TIMPUL?

Oamenii și-au dat de mult seama de natura ciclică a timpului din felul în care noaptea urmează zilei, iar anotimpurile se succedă. Pe de altă parte, ne dăm seama de natura liniară a timpului: se scurge din trecut spre viitor. Evenimentele care se află acum în trecutul nostru vor rămâne acolo pentru totdeauna, nu se vor întoarce niciodată, ci se vor îndepărta tot mai mult în trecut.

Încă de la începutul istoriei omenirii a apărut necesitatea de a împărți ziua în unități de timp mai mici. Din moment ce mișcarea Soarelui pe cer durează (aproximativ) un timp fix – era cu mult înainte să știm că ea se datorează rotației Pământului –, nu-i de mirare că unul dintre primele instrumente de măsurare a timpului a fost cadranul solar, apărut în Egipt cu peste cinci mii de ani în urmă.

Marea tranziție către ceasurile mecanice a început în secolul XVI, când Galilei a descoperit că un pendul de lungime dată efectuează mereu o oscilație completă în același interval de timp, dar abia la mijlocul secolului XVII a fost construit primul ceasornic cu pendul. Astfel, a crescut mult precizia măsurării timpului; orele au fost împărțite în minute, iar minutele în secunde. Ceasornicele mecanice au fost apoi treptat înlocuite cu dispozitive mult

mai precise. Un ceas digital conține un minuscul cristal de cuarț care vibrează de mii de ori pe secundă sub acțiunea unei tensiuni electrice. Aceste vibrații sunt atât de regulate, încât poți să-ți potrivești ceasul după ele. Vă închipuiți cât de dificilă ar fi viața noastră de astăzi, cu întâlniri, programe de lucru și termene, dacă cea mai mică unitate de timp pe care am folosi-o ar fi ora?

Azi, cele mai precise instrumente de măsurare a timpului sunt ceasurile atomice, care se bazează pe faptul că, atunci când se pompează energie în anumiți atomi, aceștia emit lumină cu o frecvență fixă, caracteristică acelui tip de atomi. Cele mai cunoscute sunt ceasurile cu cesiu, care stabilesc acum standardul pentru timp.

„Secunda“, unitatea de măsură a timpului din Sistemul Internațional de Unități de Măsură, este, evident, o invenție a omului. Dacă ar exista altundeva în univers ființe inteligente, ele ar măsura timpul folosind propria lor „monedă“, care ar putea deriva din timpul în care planeta lor efectuează o rotație completă în jurul soarelui lor. Până de curând, „secunda“ noastră era definită ca a șaizecea parte din a șaizecea parte din a douăzeci și patra parte din timpul în care Pământul efectuează o rotație completă în jurul axei proprii (adică o zi).

Asta a fost definiția secundei, dar acum, când suntem atât de obsedați de timp, nu mai e

adecvată. Există o problemă: rotația Pământului încetinește, perioada ei crește cu o secundă la câțiva ani, insesizabil, însă suficient pentru ca lumea înaltei tehnologii în care trăim să aibă nevoie de o altă măsură a timpului. Cum atomii de cesiu emit mereu lumină cu frecvența de 9 192 631 770 de cicli pe secundă, oamenii de știință au hotărât să pună invers problema și să *definească* secunda drept intervalul de timp în care lumina emisă de atomii de cesiu oscilează de 9 192 631 770 de ori, definiție care stă la baza a ceea ce se numește *timpul universal coordonat*. Durata unei zile conform timpului universal coordonat este deci 24 × 60 × 60 × 9 192 631 770 vibrații ale atomului de cesiu. Asta înseamnă că la fiecare câțiva ani trebuie să adăugăm o secundă pentru a ține cont de încetinirea rotației Pământului în jurul axei proprii, așa încât noua definiție a timpului să nu se îndepărteze de cea veche.

Dar ce putem spune despre timp ca noțiune în sine, și nu despre felul în care noi îl măsurăm? Până când Newton și-a elaborat legile mișcării, se credea că timpul ține de domeniul filozofiei, nu de cel al științei. Newton a descris însă matematic felul în care obiectele se mișcă sub influența forțelor, iar din moment ce întreaga mișcare și transformare necesită noțiunea de timp, el a apelat la o perspectivă realistă asupra

timpului. Această perspectivă „de bun-simț“ ne însoțește și azi, deși știm că e incorectă, după cum vom vedea în capitolul următor.

Timpul newtonian e absolut și implacabil. E un mediu complet de sine stătător, aflat în afara spațiului și independent de toate procesele care se petrec în spațiu. Conform acestei perspective, spunem că timpul se scurge în ritm constant, ca și cum ar exista un ceas cosmic care indică secundele, orele și anii, indiferent de senzațiile noastre, adesea subiective, legate de trecerea timpului. După Newton, timpul e absolut, adevărat și matematic. Nu avem nici o influență asupra ritmului în care se scurge, nu-l putem nici accelera, nici încetini. Știm și cât de nesigură e uneori judecata noastră privind intervalele de timp. Imaginează-ți că ațipești într-o călătorie cu trenul care durează în mod normal o oră, și te trezești simțind că au trecut doar zece minute. Când te uiți la ceas, vezi că e cu o oră mai târziu, ceea ce ți se confirmă privind pe fereastră: ești aproape de destinație. Sigur, se poate ca ceasul tău să nu meargă bine, iar trenul să fi accelerat mult în vreme ce tu ai dormit într-adevăr doar zece minute, dar e extrem de improbabil, dat fiind cât de puțină încredere putem avea în felul nostru subiectiv de a măsura timpul. Avem cu toții senzația instinctivă că timpul newtonian trebuie să existe și că se scurge în același ritm pretutindeni în univers.

Toate marile religii ale lumii au ceva de spus despre natura timpului. Religiile monoteiste cred într-un Dumnezeu atotputernic care a creat universul și există în afara spațiului și timpului. Este atotcunoscător – cunoaște nu numai trecutul, dar și viitorul – și e omniprezent – se află în toate locurile, în toate momentele de timp. Un Dumnezeu etern care există în afara universului nostru nu intră în contradicție cu ideea de univers din fizica modernă (care include spațiul *și* timpul) apărut la big bang.

Ceea ce a constituit însă un subiect de dezbatere pentru oameni de știință, filozofi și teologi a fost rolul jucat de Dumnezeu în universul mecanic determinist al lui Newton. Conform perspectivei mecaniciste a legilor newtoniene ale mișcării, putem, cel puțin în principiu, să cunoaștem poziția și viteza fiecărei particule din univers. Dat fiind că fiecare particulă va urma o traiectorie bine definită, și se află sub influența unor forțe care, iarăși în principiu, pot fi bine definite, e posibil să calculăm pozițiile tuturor particulelor la orice moment din viitor. Viitorul este așadar dinainte plănuit și predeterminat.

O asemenea viziune reducționistă asupra lumii pare să nu lase loc liberului-arbitru. Cum și noi suntem alcătuiți din atomi și suntem supuși acelorași legi ale fizicii ca orice alt obiect, atunci pesemne că ceea ce considerăm a

fi liberul-arbitru nu sunt decât procese mecanice din creier care se supun, ca orice altceva, legilor newtoniene.

Desigur, în practică nu putem calcula nici măcar pozițiile viitoare ale câtorva bile pe o masă de biliard după ce au fost împrăștiate de bila pe care am lovit-o cu tacul, ca să nu mai vorbim de pozițiile viitoare ale tuturor particulelor din univers. Dar, conform acestei perspective „deterministe“, cel puțin în principiu e posibil s-o facem, cu condiția să avem un computer suficient de puternic.[29] Un asemenea computer ar trebui să ruleze un program de enormă complexitate care să conțină un număr mult mai mare de variabile necunoscute decât cel al particulelor din univers. Asta deoarece pentru fiecare particulă avem nevoie de (cel puțin) șase numere pentru a-i defini starea la un moment oarecare: cele trei care ne spun unde se află în spațiul 3-D, și alte trei care ne spun cât de repede se mișcă și în ce direcție.

Într-o bună aproximație, n-am avea nevoie de toată această informație, fiindcă un atom dintr-o galaxie îndepărtată nu va influența lucrurile de pe Pământ, dar chiar dacă ne limităm la atomii de pe Pământ, tot avem de-a face cu un număr impresionant. În fond, există mai mulți atomi într-un singur pahar cu apă decât pahare de apă în toate oceanele lumii.

Totuși, atâta vreme cât numărul particulelor cu care avem de-a face nu-i infinit, ne putem gândi la nu computer imaginar care ar calcula pozițiile viitoare ale tuturor particulelor din univers, dacă ar ști ce fac ele acum. A cunoaște viitorul înseamnă a ști ce vor face în continuare toate corpurile. O asemenea cunoaștere ar trebui să se extindă și asupra oamenilor, odată ce cu toții suntem alcătuiți numai din atomi.

Fizicienii de azi nu mai acceptă ideea de univers determinist, care a fost abandonată odată cu apariția la mijlocul anilor 1920 a teoriei cuantice, conform căreia, la nivel fundamental, natura e aleatorie și impredictibilă.[30] Și totuși, mulți fizicieni cred că viitorul există deja, nu datorită perspectivei mecanicii newtoniene asupra universului, ci fiindcă ar decurge din felul în care teoria relativității unifică spațiul și timpul. Această idee că viitorul există deja depășește perspectiva newtoniană, care spune doar că viitorul poate fi prezis.

Cât privește natura timpului, nu toată lumea a fost de acord cu ideea newtoniană de timp extern absolut, iar asta încă înainte de cele două revoluții științifice din secolul XX: relativitatea și mecanica cuantică. Oameni de știință, filozofi și teologi au dezbătut vreme îndelungată subiecte pe care le voi prezenta aici pe scurt. Ele se referă la originea, curgerea și săgeata timpului.

PRIMUL MOMENT

Voi începe prin a trata pe scurt problema originii timpului. Majoritatea religiilor din ziua de azi vorbesc despre un moment al creației în care a apărut universul. Ele pot da răspunsuri diferite la întrebările „Cum?“, „De ce?“ și „Când?“, dar ideea de bază e aceeași. După cum am văzut în capitolul 4, majoritatea fizicienilor (mulți dintre ei credincioși) sunt acum de părere că universul a început la un moment dat, în urmă cu vreo 14 miliarde de ani. Dar putem spune că big bang-ul „a avut loc“ la un moment bine definit în timp?

Problema este că timpul însuși se crede că a început la big bang și că e o parte a texturii universului. Big bang-ul nu poate fi considerat „primul eveniment“, fiindcă asta ar presupune că a avut loc în timp. Această idee nu apare doar în știință, multe religii au un Creator care există în afara timpului, lăsându-i libertatea să creeze timpul însuși.

Fizicienii încearcă acum să înțeleagă de ce a avut loc big bang-ul. Ce anume l-a provocat? Din nefericire, cauza și efectul sunt noțiuni care presupun timpul, iar din moment ce big bang-ul a marcat începutul timpului, nu putem spune că ceva „anterior“ l-a provocat. Pur și simplu „a avut loc“.

Ca și cum asta n-ar fi de ajuns, să ne amintim că pentru a înțelege lumea la scară foarte mică trebuie să aplicăm ideile și conceptele teoriei cuantice, iar nimic nu e mai mic decât singularitățile. Singularitatea big bang trebuie deci tratată ca un „eveniment“ cuantic. Fizicienii mai au de lămurit multe detalii, însă ei știu că în lumea cuantică până și ordonarea evenimentelor devine vagă și nedefinită. În mod straniu (sau convenabil, în funcție de punctul de vedere), teoria cuantică permite ca lucrurile, inclusiv însuși big bang-ul, să se petreacă fără o cauză.

O explicație dată de fizicieni pentru nașterea universului este că regulile cuantice ar fi permis să aibă loc big bang-ul, cu condiția ca universul să dispară imediat. Din motive pe care încă nu le înțelegem pe deplin, în continuare s-ar fi putut întâmpla ca universul să treacă printr-o scurtă perioadă de expansiune extrem de rapidă, după care s-a stabilizat, continuând să se extindă, dar în ritmul actual, mult mai lent.

Așadar, care a fost primul eveniment din universul nou creat, dacă nu big bang-ul? Fizicianul Paul Davies, care a studiat în amănunt problema naturii timpului, spune că nu putea să fi existat un prim eveniment, e ca și cum te-ai întreba care e primul număr mai mare decât zero. Trebuie să avem în vedere toate numerele, nu numai pe cele naturale (caz în care primul număr după zero ar fi unu). Oricât de

mic ar fi numărul pe care îl alegem, îl putem mereu înjumătăți pentru a obține unul și mai mic. La fel, nu există un prim eveniment după big bang: oricât de apropiat de big bang ar fi un eveniment, va exista mereu unul și mai apropiat.

De îndată ce intervine însă mecanica cuantică, vedem că există un cel mai apropiat moment de big bang. La cea mai mică scară a timpului, totul devine granular și difuz, inclusiv timpul însuși. Așa cum nu mai e valabilă noțiunea de ordonare a evenimentelor, nu mai e valabilă nici ideea de timp continuu. La această scară, un interval numit *timpul Planck* poate fi considerat cea mai scurtă porție de timp posibilă care are sens. Desigur, nu ne dăm seama de această abatere de la curgerea lină a timpului pentru că scara Planck e extrem de mică. Există incomparabil mai multe unități de timp Planck într-o secundă decât secunde scurse de la big bang. Oricum, ideea este că, dacă te întorci în timp până la o unitate de timp Planck după big bang, n-are sens să te întrebi ce s-a întâmplat înainte.

TIMPUL SE SCURGE?

Mulți filozofi au susținut că timpul însuși e o iluzie. Gândiți-vă: timpul constă în trecut, prezent și viitor. Chiar dacă avem mărturii ale trecutului și amintiri ale unor evenimente care

au avut loc, nu mai putem considera că trecutul există. Pe de altă parte, viitorul abia urmează să se desfăşoare, aşadar nici el nu există. Rămânem cu prezentul, care e definit ca linia despărţitoare dintre trecut şi viitor. Desigur, există „aici şi acum“. Dar deşi simţim că această linie străbate neabătut timpul, înghiţind viitorul şi transformându-l în trecut, este doar o linie, deci nu are grosime. Prezentul are aşadar durată zero, deci nu poate avea nici el o existenţă reală. Iar dacă nici una dintre cele trei componente ale timpului nu există, atunci timpul însuşi e o iluzie!

Puteţi avea rezerve, la fel ca mine, faţă de aceste argumente filozofice subtile. E însă mult mai greu de justificat ideea că timpul „curge“, că timpul trece. Nu putem nega senzaţia că asta e ceea ce se petrece, dar oricât de puternică ar fi senzaţia, nu-i de ajuns pentru ştiinţă. În limbajul de zi cu zi spunem „timpul trece“, „va sosi timpul“, „momentul a trecut“ etc. Dar dacă te gândeşti bine, prin definiţie întreaga mişcare şi transformare trebuie judecată în raport cu timpul. Când vrem să descriem ritmul unui anumit proces, socotim fie numărul evenimentelor în unitatea de timp, cum e numărul bătăilor inimii pe minut, fie amploarea transformării în unitatea de timp, cum e creşterea în greutate a unui bebeluş într-o lună, însă n-are sens să încercăm să măsurăm ritmul în care timpul se schimbă, din moment ce nu-l

putem compara cu el însuși. Se spune în glumă că timpul curge în ritm de o secundă pe secundă. E o afirmație absurdă, fiindcă folosim timpul pentru a-l măsura pe el însuși. Cum ne-am da oare seama că timpul s-a accelerat? Din moment ce existăm în timp și măsurăm durata intervalelor de timp folosind ceasuri care, la fel ca ceasurile noastre biologice, trebuie să fie și ele accelerate, nu ne-am da seama niciodată. Singura modalitate de a vorbi despre curgerea timpului (nostru) este de a-l raporta la un timp extern, fundamental.

Dar dacă ar exista un timp extern, în raport cu care să măsurăm ritmul curgerii timpului nostru, în loc să rezolvăm problema n-am face decât s-o împingem mai departe. Dacă prin natura sa timpul curge, atunci de ce n-ar curge și acest timp extern? Iar atunci ne-am întors la nevoia de a avea un timp, încă „mai fundamental", în raport cu care să măsurăm ritmul de curgere al timpului extern, și tot așa la nesfârșit.

Din faptul că nu putem vorbi despre un *ritm* de curgere a timpului nu rezultă că timpul nu se scurge. Sau poate că timpul stă pe loc, iar noi (conștiința noastră) ne mișcăm de-a lungul lui (ne mișcăm spre viitor, în loc ca viitorul să vină spre noi). Când privești pe fereastra unui tren în mișcare și vezi cum câmpul gonește spre tine, „știi" că acesta e nemișcat, iar trenul e cel care se mișcă. La fel, avem o puternică senzație

subiectivă că momentul prezent (ceea ce numim acum) și un eveniment din viitor (următorul Crăciun, să zicem) se apropie unul de altul. Intervalul de timp dintre cele două evenimente se contractă. Fie spunem că următorul Crăciun se apropie de noi, fie spunem că noi ne apropiem de următorul Crăciun – e același lucru: simțim că ceva se schimbă. Cum se face atunci că majoritatea fizicienilor susțin că această idee nu e corectă?

Oricât de ciudat ar părea, legile fizicii nu vorbesc despre curgerea timpului. Ele ne spun cum se comportă obiecte precum atomi, scripeți, pârghii, ceasuri, rachete și stele atunci când sunt supuse diverselor forțe la anumite momente de timp; iar dacă se cunoaște starea unui sistem la un moment dat, legile fizicii ne oferă reguli pentru a calcula starea sa probabilă la un moment din viitor. Ele nu conțin însă nici un indiciu privind curgerea timpului. Ideea că timpul *trece* sau se mișcă pare să lipsească din fizică. Aflăm că, la fel ca spațiul, timpul pur și simplu există. Fără îndoială, spun majoritatea fizicienilor, senzația noastră că timpul curge nu-i decât o senzație, oricât de reală ni s-ar părea.

Știința nu ne poate deocamdată explica de unde provine această puternică senzație de trecere a timpului și de schimbare a momentului prezent. Unii fizicieni și filozofi sunt convinși că lipsește ceva în legile fizicii. Nu voi merge atât de departe, dar cred că vom obține progrese

doar atunci când vom ajunge la o mai bună înțelegere a felului în care funcționează conștiința, deci a motivului pentru care simțim trecerea timpului.

Trebuie să spun că însuși Einstein credea că scurgerea timpului e iluzorie. A încercat s-o consoleze pe văduva îndurerată a unui bun prieten spunându-i că momentul prezent nu-i cu nimic deosebit de oricare altul din trecut sau din viitor; toate momentele de timp există laolaltă.

CEVA NUMIT ENTROPIE

Chiar dacă timpul nu curge, îi putem atribui o direcție numită *săgeata timpului*, un concept abstract care înseamnă pur și simplu că putem defini o ordine a evenimentelor. Săgeata timpului e orientată din trecut spre viitor, de la evenimentele anterioare către cele ulterioare. Lucrurile se petrec urmând direcția timpului. E important aici să facem deosebirea dintre curgerea timpului și direcția timpului. Să ne închipuim că privim cadrele individuale de pe o bobină de film. Putem cu ușurință defini o săgeată a timpului orientată într-o anumită direcție de-a lungul bobinei stabilind ce cadre au fost mai devreme și ce cadre au fost mai târziu. O putem face în ciuda faptului că privim imagini statice ale unor evenimente, că nu există nici o mișcare în cadre. Fiecare e un instantaneu înghețat în timp.

Însă chiar și când e vorba de direcția timpului trebuie să fim atenți. Nu trebuie să confundăm direcția reală a timpului (dacă există așa ceva) cu senzația noastră subiectivă legată de direcția timpului. Voi defini pentru început ceea ce pare să fie o direcție evidentă a timpului, numită *săgeata psihologică* – direcția în care *percepem* că timpul e orientat: ne amintim evenimente din trecut și ne așteptăm ca evenimente să se petreacă în viitor. Dacă săgeata ta psihologică a timpului s-ar inversa brusc, ar fi ca și cum totul în jurul tău s-ar derula în sens opus. Viitorul celorlalți s-ar afla în trecutul tău, și viceversa. E atât de ridicol încât n-am să mai pierd vremea vorbind despre asta. E vreo problemă cu săgeata timpului? Evident, vedem că trecutul se desfășoară înaintea viitorului, pentru că într-adevăr trecutul se desfășoară înaintea viitorului!

Motivul pentru care sunt precaut în această privință este că ecuațiile fizicii nu oferă o direcție a timpului. Timpul ar putea curge înapoi, iar legile fizicii ar rămâne neschimbate. Ați putea spune că e ghinionul fizicienilor. Dacă direcția în care timpul ar trebui să fie orientat lipsește din ecuațiile fizicii, atunci ele nu ne spun totul. Din faptul că ele nu pot discerne o direcție a timpului nu rezultă că nu există o direcție a timpului în lumea *reală*.

Problema e însă și mai gravă. Chiar și în lumea reală, la nivelul atomilor, aproape toate procesele sunt reversibile în timp. Dacă într-un

proces subatomic două particule, *a* și *b*, se îndreaptă una spre alta și se ciocnesc, adesea ele vor ricoșa și se vor separa apoi din nou. Dacă ai privi filmul unui asemenea proces, iar pe urmă l-ai privi derulat invers, n-ai putea stabili în ce fel s-a desfășurat procesul. Procesul inversat în timp se supune și el legilor fizicii. Se cuvine să subliniez că acesta e un experiment mintal: nu-l putem efectua în realitate, fiindcă nici un microscop de pe Pământ nu-i atât de puternic pentru a discerne la nivel subatomic.

Se întâmplă adesea ca, în loc să ricoșeze din ciocnire aceleași două particule, să fie produse noi particule, *c* și *d*, care se îndepărtează apoi una de alta. Nici în acest caz n-ai putea stabili ordinea adevărată a evenimentelor dacă ai privi filmul procesului, fiindcă legile fizicii susțin că și procesul invers e posibil. Particulele *c* și *d* puteau să se fi ciocnit pentru a produce particulele *a* și *b*. Nu poți deci preciza o săgeată a timpului care să ne spună cum s-a petrecut procesul.

Toate acestea sunt în flagrantă contradicție cu evenimentele care se petrec în jurul nostru în viața de zi cu zi, pentru care nu-i o problemă să precizăm în ce direcție e orientat timpul. De pildă, nu vezi niciodată fumul deasupra unui horn adunându-se și intrând în horn. La fel, nu poți „dezamesteca“ zahărul dintr-o ceașcă de cafea odată ce s-a dizolvat, și nu vezi niciodată o grămadă de cenușă dintr-un șemineu care

„dezarde“ pentru a deveni din nou un buștean. Ce anume deosebește aceste evenimente de cele subatomice? De ce majoritatea fenomenelor din jurul nostru nu se pot petrece invers? Evident, în ultimă instanță totul e alcătuit din atomi, iar la acel nivel totul e reversibil. Așadar, în ce etapă, trecând de la atomi la fumul din horn, cești de cafea și bușteni, devine ireversibil un proces?

La o cercetare mai atentă, vedem că nu-i vorba că procesele prezentate mai sus nu pot avea niciodată loc invers, ci că e extrem de improbabil să se întâmple așa. Legile fizicii nu interzic ca zahărul să se „desdizolve“ prin amestecare și să se reconstituie într-un cub de zahăr. Dar dacă am vedea că se întâmplă asta, am bănui că la mijloc e o scamatorie – și pe drept cuvânt, fiindcă probabilitatea să se întâmple așa ceva e atât de mică încât poate fi ignorată.

Să considerăm un exemplu mai simplu, apelând la un pachet de cărți de joc. E mai simplu pentru că avem de-a face cu un număr mult mai mic de componente (52 de cărți) decât numărul moleculelor de zahăr, fum sau lemn din exemplele de mai sus. Să începem cu pachetul în care cărțile sunt aranjate astfel încât cele patru culori sunt separate, iar cărțile sunt în ordine crescătoare (doi, trei, patru… valet, damă, popă, as). Amestecând puțin cărțile, ordinea va fi distrusă. Ne putem întreba ce se

întâmplă cu ordinea cărților când le amestecăm *mai departe*. Răspunsul e evident. E incomparabil mai probabil ca acum cărțile să fie și mai dezordonat aranjate decât să revină la aranjamentul lor ordonat inițial. Este aceeași ireversibilitate ca în cazul unui cub de zahăr parțial dizolvat, care, continuând să amestecăm, se va dizolva mai departe.

Pentru a vă da o idee despre probabilitățile implicate, dacă amestecați bine un pachet de cărți de joc, probabilitatea de a obține aranjamentul ordonat de la început este la fel de mare ca aceea de a câștiga marele premiu la Loteria Națională nu o dată sau de două ori, ci la nouă extrageri consecutive!

În esență, aici e vorba de o importantă lege a fizicii: legea a doua a termodinamicii. Termodinamica se ocupă de studiul căldurii și al relației ei cu alte forme de energie. Astronomul Arthur Eddington a ajuns chiar să spună că legea a doua ocupă rangul suprem între legile naturii. Există alte trei legi ale termodinamicii,[31] privind felul în care energia și căldura pot fi transformate una într-alta, dar nici una nu e atât de importantă ca legea a doua. M-a amuzat mereu faptul că una dintre cele mai importante legi din întreaga fizică nu ocupă nici măcar locul întâi între legile termodinamicii.

A doua lege a termodinamicii afirmă că lucrurile se destramă, se domolesc, se destind, îmbătrânesc și se descompun. Ea explică de ce

zahărul se dizolvă în cafea, și niciodată nu se „desdizolvă“. Afirmă de asemenea că un cub de gheață într-un pahar cu apă se va topi, deoarece căldura e mereu transferată de la apa mai caldă la cubul de gheață mai rece, iar niciodată invers. Pentru a înțelege ceva mai bine legea a doua, trebuie să introduc o mărime fizică numită *entropie*. Legea a doua spune că, într-un sistem izolat, entropia fie rămâne constantă, fie crește, dar niciodată nu scade.

Nu e simplu de definit entropia, așa încât am s-o fac în două moduri:

1. Entropia este o măsură a dezordinii dintr-un sistem, a gradului în care lucrurile sunt amestecate. Pachetul ordonat de cărți de joc despre care am vorbit înainte se spune că are o entropie scăzută. Amestecând pachetul, distrugem ordinea inițială și creștem entropia. Când cărțile sunt complet amestecate, spunem că entropia pachetului atinge valoarea maximă, iar amestecând mai departe cărțile dezordinea lor nu mai poate crește.[32]

2. Entropia poate fi concepută și ca o măsură a capacității unui sistem de a efectua lucru mecanic (adică posibilitatea de a obține de la el energie utilă). O baterie complet încărcată are entropie scăzută, iar entropia crește pe măsură ce bateria e folosită. O jucărie mecanică are entropie scăzută când i-am răsucit resortul, iar entropia crește când resortul se destinde. Când e complet destins, putem să-i readucem entropia

la o valoare mică răsucind din nou resortul. În acest caz, legea a doua nu e încălcată, fiindcă sistemul (jucăria mecanică) nu mai e izolat de mediu (noi). Entropia jucăriei scade, însă noi efectuăm lucru mecanic pentru a răsuci resortul, iar entropia noastră crește. În ansamblu, entropia jucăriei + entropia noastră crește.

E destul de greu să găsim pentru entropie un exemplu care să acopere ambele definiții: cea a creșterii dezordinii și cea a capacității de a efectua lucru mecanic. Un asemenea exemplu de creștere inevitabilă a entropiei sunt dormitoarele copiilor mei. Înainte să se întoarcă după-amiaza de la școală, camerele lor sunt ordonate – se află într-o stare de entropie scăzută. Odată ajunși acasă, jucându-se în spatele ușilor închise, entropia crește foarte repede. Piese de lego, mașinuțe, păpuși, ursuleți, farfurioare, tacâmuri și tot felul de mâncăruri din plastic au fost scoase din cutiile lor și zac răspândite la întâmplare pe podea. Singurul mijloc de a aduce camerele înapoi în starea de entropie inițială scăzută este de a „aplica lucru mecanic extern sistemului“ (de obicei sub forma mamei lor). Ar fi contrar legilor fizicii (sau a ceea ce se numește „legea a doua a familiei Al-Khalili“) ca, odată intrați copiii într-un dormitor de entropie înaltă, fără lucru mecanic extern (cum ar fi amenințările verbale), copiii să-i scadă entropia.

Alt exemplu de creștere a entropiei este fumul de țigară din sala de mese de la universitatea mea (ultimul refugiu al fumătorilor din campus). Când se aprinde o țigară în zona rezervată fumătorilor, entropia e scăzută, fiindcă fumul se află într-un mic volum din sală. Dar grație legii a doua a termodinamicii, curând avem cu toții parte de fum. Legea a doua a termodinamicii spune că niciodată nu vei vedea fumul uniform distribuit în sală adunându-se la loc în colțul de unde a apărut.

Vedem uneori exemple în care entropia pare să scadă. De pildă, un ceas e un sistem complex extrem de ordonat, fabricat dintr-o mulțime de piese de metal. Ai zice că asta încalcă legea a doua, dar de fapt nu-i decât o versiune mai complicată a exemplului cu jucăria mecanică. Ceasornicarul a efectuat un anumit efort pentru fabricarea ceasului, crescându-și ușor entropia. În plus, extragerea metalului din minereu și prelucrarea lui au produs o anumită cantitate de căldură disipată, care compensează cu asupra de măsură mica scădere a entropiei ce rezultă din fabricarea ceasului.

Dacă ni se pare vreodată că entropia scade, ne dăm seama mereu că sistemul considerat nu e izolat de mediu și că, privind lucrurile la o scară mai mare, entropia va crește întotdeauna. Putem considera că multe procese de pe Pământ – de la evoluția vieții la construirea unor

sisteme complexe extrem de ordonate – reduc entropia pe suprafața planetei noastre. De la mașini și computere la verze, toate au entropie mai scăzută decât materiile prime din care sunt alcătuite. Și totuși, legea a doua nu e încălcată, ceea ce am ignorat e faptul că nici măcar Pământul nu poate fi considerat izolat de mediul său. Nu trebuie să uităm că aproape întreaga viață de pe Pământ, deci toate structurile cu entropie scăzută, există grație luminii solare. Dacă avem în vedere sistemul combinat Pământ + Soare, vedem că entropia totală crește fiindcă radiația emisă de Soare în spațiu (din care doar o parte e absorbită de Pământ) face ca entropia sistemului să crească cu mult mai mult decât scăderea ei corespunzătoare pe Pământ.

SĂGEȚILE TIMPULUI

Ce ne spun toate acestea? Am început prin a vorbi despre direcția în care timpul curge. Vă amintesc că nu-i o direcție în sens propriu (nord sau sud), și nici măcar de o *direcție în timp*: este o direcție *a timpului*, care poate avea doar două orientări opuse. Există două moduri de a alege o asemenea săgeată: fie considerăm două evenimente și ne întrebăm care s-a petrecut primul, fie, considerând o cantitate care se modifică, alegem o săgeată a timpului care să fie orientată în direcția creșterii sau scăderii acelei cantități.

Se spune adesea că motivul pentru care „vedem“ timpul curgând într-o direcție dată este acela că, la fel ca orice sistem fizic, creierul nostru se supune legii a doua a termodinamicii. Săgeata psihologică a timpului trebuie deci să fie mereu orientată în direcția creșterii entropiei. Argumentul e îndoielnic. A spune că entropia din creierul nostru crește e o greșeală. La fel ca orice sistem biologic, creierul nostru folosește energie pentru a-și menține starea de entropie scăzută. Într-o bună aproximație, entropia din creierul nostru rămâne constantă în cea mai mare parte a vieții.

A doua lege a termodinamicii ne dă o săgeată a timpului mai generală și mai puțin subiectivă decât săgeata psihologică a timpului care pare să fie încorporată în conștiința noastră. Definim astfel ceea ce se numește *săgeata termodinamică a timpului*, orientată mereu în direcția creșterii entropiei. Din moment ce vedem întotdeauna că entropia din jurul nostru crește, *inevitabil* săgeata termodinamică va fi orientată în aceeași direcție ca săgeata psihologică.[33]

Cum ar fi dacă într-o bună zi entropia ar începe să scadă pretutindeni în univers? Am spune că săgeata termodinamică s-a inversat. Ce s-ar întâmpla atunci cu săgeata psihologică? Ar fi orientată în direcția opusă? Am vedea zahărul „desdizolvându-se“, pachetele de cărți de joc

„dezamestecându-se“ și fumul de țigară adunându-se de peste tot din cameră și dispărând în vârful unei țigări aprinse?

Unii cred că răspunsul este nu. Ei apelează la ideea că procesele noastre mentale, care definesc săgeata psihologică, sunt procese chimice din creier, iar creierul, ca orice sistem fizic, trebuie să se supună legii a doua. Dacă dintr-un motiv oarecare entropia ar începe să scadă *pretutindeni*, asta ar include creierele noastre (și procesele mentale), iar atunci s-ar inversa și săgeata psihologică. Eu nu sunt sigur că așa stau lucrurile, fiindcă, după cum am arătat, cred că creierele noastre luptă împotriva creșterii entropiei în exterior. Nu mi-e deloc limpede ce s-ar întâmpla în creierele noastre dacă entropia ar începe să scadă pretutindeni altundeva.

Mai există două săgeți ale timpului care reflectă diferite tipuri de procese ireversibile din fizică. Prima e *săgeata măsurătorii cuantice*. Atâta vreme cât un sistem cuantic (un atom, să zicem) e lăsat singur, iar noi nu încercăm să-i măsurăm proprietățile, el rămâne pe deplin reversibil, în sensul că procesele care au loc în el se pot petrece înainte sau înapoi în timp. Dacă însă încercăm să examinăm sistemul (folosind un dispozitiv experimental, cum ar fi un detector, pentru a măsura poziția unui atom,

să zicem), este aleasă o săgeată a timpului bine definită. Anumite proprietăți sunt permanent influențate de actul măsurătorii.

Studii recente privind semnificația mecanicii cuantice sugerează că săgeata măsurătorii cuantice e în esență foarte asemănătoare săgeții termodinamice. Alt mod de a defini entropia este prin pierderea informației. Salvând un fișier în computer, creezi ordine și scazi local entropia. Situația opusă apare când ștergi un fișier: pierzi informație, iar entropia crește. Se dovedește acum că săgeata măsurătorii cuantice apare datorită unei pierderi asemănătoare de informație la nivel subatomic. Pentru a ne exprima în termeni de specialitate, coerența cuantică se scurge în mediul din jurul sistemului cuantic atunci când sistemul e examinat, crescând astfel entropia lui. Această pierdere a informației cuantice seamănă cu felul în care căldura se scurge dintr-un obiect fierbinte în mediul mai rece din jurul lui.

În fine, trebuie să menționez o a patra săgeată a timpului: *săgeata materie/antimaterie*. Într-un experiment subtil, efectuat în 1998 la acceleratorul de particule de la CERN, s-a descoperit că este puțin mai probabil ca antimateria să se transforme în materie decât invers. Experimentul, numit CP-LEAR (*Charge Parity experiment in the Low Energy Antiproton Ring* – Experiment privind conjugarea de sarcină și paritatea[34] în Inelul de Antiprotoni la

Energie Joasă) n-a convins deocamdată întreaga comunitate a fizicienilor. Dacă însă e corect, pornind cu cantități egale de materie și antimaterie sub forma particulelor subatomice numite *kaoni*, la un moment ulterior vor fi mai puțini kaoni de antimaterie decât kaoni de materie normală. Obținem astfel la nivelul acestor particule o săgeată a timpului orientată în direcția diminuării antimateriei.

STEPHEN HAWKING SE ÎNȘALĂ

Curând după ce mi-am început teza de doctorat în 1987, mă aflam în biblioteca universității pentru a efectua o cercetare bibliografică. Lucram la o problemă care presupunea un calcul laborios descriind ce se întâmplă când se ciocnesc două nuclee atomice, și căutam în revistele de specialitate referințe legate de problema mea. Cam plictisit, neputând să găsesc un anumit articol, m-am hotărât să caut lucrările recente ale lui Stephen Hawking doar fiindcă simțeam că studiile lui de cosmologie mi-ar oferi o bine-venită abatere de la munca mea. Am găsit un articol din 1985 în care arăta că direcția timpului ar putea fi inversată dacă universul ar începe să se contracte. Părea promițător. Am fotocopiat articolul și l-am citit în tren, în drum spre casă.

Am urmărit raționamentele din primele pagini, dar curând m-am blocat în calcule. În

seara aceea am hotărât totuși că s-a strecurat acolo o greșeală, însă cum nu puteam intra în detaliile matematice, simțeam că nu mă aflam pe un teren ferm. La urma urmei, el era un fizician celebru în lumea întreagă, iar eu abia îmi începeam cercetările în alt domeniu al fizicii. Ceea ce nu știam atunci era că Hawking înțelesese deja că, în acel articol care trezise atenția multor fizicieni, trăsese concluzii false. Vreau totuși să discut ideile din articol pentru a arăta că timpul e atât de derutant și amăgitor, încât până și o personalitate de anvergura lui Stephen Hawking se poate înșela. De fapt, a fost pentru mine fascinant să văd câți alți fizicieni de renume și-au păstrat ideile greșite privind acest subiect fundamental.[35] Totul decurge din neînțelegerea noțiunii de entropie. Voi începe prin a arăta pe scurt de ce a ajuns Hawking la concluzia lui controversată.

Legea a doua a termodinamicii, care afirmă că entropia oricărui sistem izolat nu poate scădea, trebuie să se aplice pretutindeni în univers. Așadar, de ce nu s-ar aplica întregului univers? În fond, universul în ansamblu e prin definiție un sistem izolat, din moment ce nu există nimic în afara lui. De fapt, entropia universului chiar crește, deci universul trebuie să fi fost mai ordonat în trecut – trebuie să fi avut o entropie minimă la big bang, iar de atunci a devenit tot mai dezordonat.

Veți spune că trebuie să fii cam ambițios, ba chiar arogant, ca să vorbești despre entropia întregului univers, însă odată ce încercăm să-i deducem dimensiunea, forma și vârsta, de ce n-am face același lucru și cu entropia lui? Pentru început, voi considera un „model“ simplu de univers, care nu prea are de-a face cu realitatea, dar ne va ajuta să înțelegem rolul pe care îl poate juca legea a doua în evoluția universului. Să ne închipuim o cutie etanșă în care toate moleculele de aer sunt concentrate într-un colț. Putem obține asta dacă întregul aer e închis într-o sticlă aflată în colț, care poate fi deschisă de la distanță. Entropia cutiei în starea inițială e scăzută, din moment ce conținutul ei se află într-o stare ordonată, toate moleculele fiind înghesuite în sticlă.

Cu timpul, aerul va ieși din sticlă și se va răspândi în întreaga cutie, ceea ce va duce la creșterea entropiei. Când moleculele de aer sunt distribuite uniform în cutie, entropia atinge o valoare maximă, iar sistemul ajunge la echilibru – echivalentul situației în care pachetul de cărți de joc e complet amestecat. Există o probabilitate infimă ca la un moment ulterior să găsim toate moleculele înapoi în sticlă.

Acum să ne închipuim o cutie mult mai mare (de dimensiunile unei galaxii, să zicem). Cu atât de multe molecule în interiorul cutiei, masa lor însumată e suficient de mare pentru a avea efecte gravitaționale. S-ar putea ca moleculele

dintr-un grup să se apropie din întâmplare unele de altele la distanțe mai mici decât distanța medie dintre molecule. Atunci, ne așteptăm ca gravitația să preia controlul și să provoace atracția lor reciprocă. Cu cât se adună laolaltă mai multe molecule, cu atât e mai puternică atracția lor gravitațională însumată asupra moleculelor din jur. Această aglomerare gravitațională va face ca întregul aer să se înghesuie în grămezi de diferite dimensiuni prin volumul cutiei, cu spații goale între ele. Ce s-a întâmplat cu entropia? Am început cu moleculele răspândite uniform prin întregul volum, și cu entropia la o valoare maximă, și am ajuns la ceea ce pare a fi o stare mai ordonată, așa cum se întâmplă când aduni toamna frunzele uscate în grămezi. S-ar părea că gravitația a încălcat legea a doua.

Dar nu-i așa. Dacă ne închipuim creșterea entropiei ca pe un proces de „destindere“, atunci materia care e suficient de strânsă laolaltă pentru a simți atracția gravitațională se va „destinde“ pe măsură ce componentele ei gravitează împreună. O bilă aflată în vârful unui deal are entropie scăzută. Când se rostogolește la vale (sub acțiunea gravitației) entropia ei crește. Spunem că și-a pierdut capacitatea de a efectua lucru mecanic. La școală învățăm că bila din vârful dealului are energie potențială, care se transformă în energie cinetică pe măsură ce bila se rostogolește. La fel, o jucărie

mecanică al cărei resort l-am comprimat (despre care am spus mai înainte că are entropie scăzută) posedă energie potențială, care se pierde pe măsură ce resortul se destinde, iar entropia crește.

Gravitația face deci să crească entropia, dar asta tot nu explică de ce entropia din cutie poate crește dacă ajunsese deja la un maximum. Răspunsul este că, în tot timpul cât moleculele sunt uniform separate, gravitația atrage în toate direcțiile, anulându-se astfel, iar entropia e la un maximum. Dacă din întâmplare (totul e posibil) moleculele dintr-o anumită regiune se găsesc la o distanță mai mică unele de altele decât distanța medie, apare o abatere temporară de la entropia maximă (echilibru). Pentru ca legea a doua să remedieze situația, aceste molecule au două posibilități: fie se îndepărtează la loc unele de altele, ajungând în starea lor de echilibru inițială, fie se aglomerează gravitând laolaltă. În ambele cazuri, entropia crește din nou la valoarea maximă. Ambele scenarii pot fi privite ca o destindere a sistemului, dar aveam două imagini diferite ale stării de entropie maximă.

Suntem acum pregătiți să discutăm despre universul real. Hawking și-a început raționamentul afirmând că universul trebuie să fi avut o entropie minimă la big bang, și, din moment ce se supune legii a doua a termodinamicii, s-a destins de atunci, deplasându-se către o stare de entropie maximă.

El elaborase o teorie a universului care pretindea ca acesta să fie închis, și credea că există suficientă materie pentru ca într-o bună zi expansiunea să se oprească, iar universul să colapseze într-un big crunch. Să ne amintim din capitolul 4 că acesta e unul dintre scenariile posibile pentru soarta universului. Vom presupune în continuare până la sfârșitului capitolului că într-adevăr aceasta e soarta universului (deși, după cum am arătat, acum pare puțin probabil).

În modelul lui Hawking, singularitățile big bang și big crunch erau identice. La urma urmei, în ambele cazuri întreaga materie și întreaga energie din univers ar fi strivite până la o densitate infinită și dimensiune zero. Așadar, dacă singularitatea big bang a fost o stare de entropie scăzută, la fel ar trebui să fie și singularitatea big crunch. Rezultă că, pe măsură ce universul se contractă, entropia lui ar trebui să scadă, iar legea a doua a termodinamicii ar fi încălcată în cursul acestei faze. Hawking credea că starea de expansiune maximă reprezintă și starea de entropie maximă. Prin urmare, starea de contractare a universului reprezintă inversarea în timp a fazei de expansiune.

Dacă entropia începe să scadă în cursul fazei de contractare, atunci săgeata termodinamică a timpului trebuie să se inverseze (din moment ce, prin definiție, e orientată în direcția *creșterii* entropiei), iar dacă săgeata noastră subiectivă

(psihologică) e mereu aliniată în aceeași direcție cu cea termodinamică, și timpul nostru va curge invers. Asta înseamnă că, în loc să fie un eveniment din viitorul nostru, big crunch-ul ar fi un eveniment din trecutul nostru. Presupun, desigur, că oamenii vor supraviețui miliardele de ani necesare pentru a testa asta, dar nici în acest caz n-am vedea universul contractându-se. Odată ce timpul nostru ar curge invers, am crede că universul continuă să se extindă. În plus, n-am constata nici o încălcare a legii a doua a termodinamicii – pentru noi, entropia ar crește, așa cum e normal. Cea mai fascinantă concluzie pe care o tragem din această situație ciudată este că universul ar putea de fapt acum colapsa, iar numai pentru că avem o săgeată a timpului orientată în direcția creșterii entropiei credem greșit că universul se extinde!

Nu știam pe atunci că ideea inversării direcției timpului într-un univers care colapsează a fost lansată inițial de Thomas Gold în anii 1960. Hawking a încercat să așeze ideea pe baze teoretice mai ferme, apelând la natura cuantică a celor două singularități. De fapt, comportamentul universului în apropierea momentului de expansiune maximă ar fi foarte straniu în descrierea inițială a lui Hawking. Să presupunem că un om supraviețuiește trecerii de la faza de expansiune la cea de contractare, aflându-se într-o navă spațială. Săgeata

timpului, pentru el, s-ar inversa brusc, și n-ar ține minte momentul de expansiune maximă, fiindcă acesta s-ar afla acum în viitorul lui.

Dar iată obiecția mea la această idee. Mai întâi, Hawking a folosit termenii „expansiune“, „contractare“ și „supraviețuire în perioada de trecere de la expansiunea maximă la faza de contractare“. Acest limbaj presupune existența unei săgeți a timpului externe, separate, orientată de la big bang la big crunch. Altminteri, nu există nimic care să distingă între cele două, și nu putem spune care a fost „înainte“ și care „după“. Când se spune că am putea crede „greșit“ că trăim în faza de expansiune, dar „în realitate“ trăim în faza de colaps, avem nevoie de un timp extern care să acționeze ca un judecător pentru a ne spune ce face de fapt universul. Nu cunoaștem o asemenea săgeată a timpului, iar a sugera că ar putea exista una amintește de discuția mea precedentă privind un ipotetic timp extern în raport cu care am avea nevoie să măsurăm ritmul curgerii timpului nostru. Iar dacă nu există o direcție preferențială globală a timpului care să caracterizeze fazele de expansiune și contractare, atunci big crunch-ul ar trebui să fie într-adevăr echivalent cu big bang-ul, și să marcheze și el începutul timpului. Timpul ar curge deci de la ambele singularități, în direcții opuse, către sfârșitul timpului la expansiunea maximă.

Voi sublinia această problemă a unui sfârșit al timpului luând în considerare soarta unui om care supraviețuiește într-o navă spațială în apropierea momentului de expansiune maximă. El calculează că universul va ajunge la expansiunea maximă la ora trei în după-amiaza acelei zile (să numim acel timp *T-max*). E conștient de faptul că săgeata timpului său e pe punctul să se inverseze. Cu o secundă înainte de ora trei totul e normal, iar el știe că mai are de așteptat o secundă. Ce se va întâmpla cu două secunde mai târziu? Este ora trei și o secundă, și ne aflăm în faza de contractare. Dacă săgeata timpului e acum inversată, iar toate procesele din interiorul navei se desfășoară invers în timp, atunci ceasul va arăta ora trei *fără* o secundă. Astronautul va crede în continuare că universul mai are o secundă de expansiune.

Nici și cu o milionime de secundă înainte de *T-max* nu s-ar întâmpla nimic deosebit, însă cu două milionimi de secundă mai târziu el va crede mai departe că îl desparte o milionime de secundă de *T-max*. Ne putem apropia oricât de mult de *T-max*, dar nu va exista niciodată un timp ulterior lui. *T-max* ar marca într-adevăr sfârșitul timpului.

Obiecțiile de mai sus nu demonstrează că Hawking s-a înșelat, ci că limbajul folosit presupune o săgeată a timpului suplimentară, care nu schimbă direcțiile la *T-max* și la care nu ne putem raporta.

După ce a discutat despre teoria lui cu alți fizicieni, Hawking și-a dat seama imediat că nu-i nevoie ca la big crunch universul să se întoarcă într-o stare de entropie scăzută, deci nu trebuie să aibă loc o inversare a direcției săgeții timpului. Entropia universului poate continua să crească din faza de expansiune în faza de contractare. Din păcate, Hawking s-a îmbolnăvit de pneumonie și n-a putut scrie imediat un articol în care să explice greșeala sa. Țin minte că citeam bestsellerul lui *Scurtă istorie a timpului* în tren, la un an după ce apăruse, și am fost cuprins deopotrivă de uimire și de admirație față de onestitatea lui Hawking. Țin minte mai ales că m-am simțit stânjenit că zâmbetul meu stupid atrăsese atenția celorlalți călători.

Cum putem așadar înțelege diferența dintre big bang-ul de entropie scăzută și big crunch-ul de entropie ridicată? O explicație este aceea că spațiul în apropierea celor două singularități are geometrii diferite. Credem acum că găurile negre sunt rezervoare de entropie. Cu cât sunt mai mari, cu atât e mai mare entropia lor. Din moment ce big crunch-ul poate fi considerat gaura neagră absolută, care a înghițit întregul univers, ar trebui să aibă o entropie extrem de ridicată. Dimpotrivă, big bang-ul e asemenea unei găuri albe, și ar avea o entropie foarte scăzută.

Explicația nu e însă mulțumitoare. În fond, unde apare gravitația? Unde apare expansiunea? Și cum de s-a aflat universul la început într-o stare de entropie atât de scăzută?

La prima vedere, s-ar părea că universul se află acum într-o stare de entropie scăzută. Stelele sunt pete fierbinți în spațiu, care radiază căldură în jur și fac ca entropia să crească (să ne amintim că transferul de căldură e o modalitate de a defini entropia). Când o stea încetează să strălucească, ea s-a destins complet și se află într-o stare de entropie ridicată (indiferent dacă sfârșește sau nu ca o gaură neagră). Va exista așadar un moment în viitorul îndepărtat când toate stelele vor fi ars până la capăt, iar radiația lor se va fi răspândit uniform în spațiu (entropie ridicată). Apare însă aici o problemă delicată, pe care fizicienii au încercat s-o eludeze cu mai mult sau mai puțin succes. La începutul universului, înainte ca stelele și galaxiile să se formeze, înainte chiar ca materia să aibă ocazia să se formeze din energie pură, universul s-a aflat într-o stare de echilibru termic, energia lui fiind răspândită uniform, așa încât nici o regiune din spațiu nu era mai fierbinte decât oricare alta. Evident, aceasta e o stare de entropie maximă. Așadar, cum a fost posibil să se formeze stelele?

Un răspuns ar fi următorul: e adevărat că universul a început într-o stare de entropie maximă, dar pe atunci era foarte mic; entropia

lui avea valoarea maximă posibilă corespunzând unui univers de acea mărime. Universul a trecut apoi printr-o perioadă de expansiune rapidă (inflație), iar valoarea maximă a entropiei pe care *o putea* avea a crescut spectaculos. Entropia lui reală a devenit brusc mult mai mică decât acea valoare maximă posibilă, apărând astfel un „gol de entropie“.

În cartea sa *The Emperor's New Mind*, Roger Penrose critică această idee, afirmând că inversarea timpului ar trebui să se aplice dacă și atunci când universul ar colapsa în cele din urmă într-un big crunch. Pe măsură ce se contractă, golul de entropie va scădea până când universul va ajunge la o dimensiune pentru care entropia are valoarea maximă posibilă. Orice contractare ulterioară ar face ca entropia să scadă și mai mult, încălcând legea a doua.

Cum putem înțelege deci această asimetrie între cele două singularități? Ne poate ajuta gravitația? O diferență evidentă între faza de expansiune și cea de contractare este că în prima condițiile cuantice (oricare vor fi fost ele) sunt cele care au provocat expansiunea universului. Pe de altă parte, faza de contractare se datorează în întregime atracției gravitaționale a materiei din univers. Ca atare, originile fizice ale expansiunii și contractării sunt diferite. Am vrea totuși să explicăm evoluția universului în termeni de entropie.

Altă diferență adesea menționată este că un univers foarte bătrân aflat în contractare n-ar mai avea stele care să ardă. Ar fi alcătuit în întregime din radiație cosmică de fond rece, stele moarte și găuri negre – evident, un peisaj de entropie ridicată. Dar nu e singurul scenariu posibil. Pentru a simplifica lucrurile, să presupunem că universul în contractare conține doar lumină de energie joasă (fotoni) și găuri negre. Hawking a arătat că găurile negre se evaporă, așa încât ne putem imagina un univers bătrân – dacă ar avea la limită suficientă materie pentru a fi un univers închis, ar dura foarte mult până când gravitația să inverseze expansiunea – în care toate găurile negre s-au evaporat. Nu-i clar dacă ar lăsa în urma lor singularități goale, nude, dar în caz contrar universul ar fi în cele din urmă alcătuit doar din radiație rece.

O POSIBILĂ SOLUȚIE

Încă n-am explicat cum s-au putut forma de la bun început stelele și galaxiile. Asta s-ar fi putut întâmpla numai dacă ar fi existat neregularități sau încrețituri în textura spațiului pentru ca acolo densitatea materiei să fie mai mare decât cea medie. Dacă spațiul nu se extinde prea repede, e inevitabil ca materia din acele regiuni să se aglomereze și mai mult. Situația e asemănătoare cu cea din exemplul moleculelor de aer dintr-o cutie, despre care am vorbit

înainte. În acel caz, volumul din interiorul cutiei nu se extinde, iar regiunile cu densitate puțin mai mare apar din pură întâmplare. La începutul universului, acele regiuni unde materia s-a aglomerat s-au încălzit în cele din urmă atât de mult, încât s-a declanșat fuziunea nucleară, iar astfel s-au născut stelele. Gradul de încrețire (neregularitate) a trebuit să fie însă exact cel potrivit. Dacă ar fi fost prea mic, materia nu s-ar fi aglomerat niciodată, iar galaxiile și stelele (precum și oamenii) n-ar mai fi apărut. Pe de altă parte, dacă spațiul ar fi fost prea încrețit, atunci marea densitate a materiei în acele regiuni ar fi provocat rapid formarea unor găuri negre uriașe.

Chiar dacă nu înțelegem originea acestor neregularități, am putea căuta măcar dovezi experimentale că ele au existat la începutul universului. A fost prezis teoretic că ele ar trebui să apară ca minuscule variații de temperatură în radiația cosmică de fond, care, așa cum am văzut în capitolul 4, este radiația rămasă de la big bang. Efectul trebuia să fie însă atât de mic, încât nu putea fi detectat de pe Pământ. În 1992, NASA a anunțat că satelitul COBE (*Cosmic Background Explorer* – Exploratorul Fondului Cosmic) a detectat diferențe în temperatura radiației de fond exact de mărimea prezisă. Această descoperire a fost considerată dovada finală a faptului că modelul big bang este corect, dar unii astronomi au spus

că e o exagerare, iar rezultatul obținut de COBE n-a făcut decât să vină în sprijinul ideilor noastre despre formarea galaxiilor.

Oare lucrurile se potrivesc acum? Entropia universului a pornit de la o valoare scăzută la big bang? Va continua să crească chiar dacă universul va colapsa într-un big crunch, oferindu-ne o săgeată a timpului care nu se inversează? Cred că da – presupunând, desigur, că universul va colapsa la un moment dat, ceea ce e improbabil.

Imediat după big bang, universul era fierbinte și avea multă energie, deci se afla într-o stare de entropie scăzută. Pe măsură ce s-a extins, s-a răcit. Entropia lui a crescut rapid, dar nu pe seama vreunui transfer termic; ne putem gândi că energia a fost convertită în lucru mecanic pentru expansiune.

Universul răcindu-se, o infimă cantitate de energie a fost zăvorâtă în atomii de hidrogen. Apoi, grație încrețiturilor din spațiu care au oferit germenii pentru formarea stelelor, gravitația a putut face curând ca acei atomi să se aglomereze pentru a forma galaxiile și stelele din ele. S-au creat astfel condițiile pentru eliberarea treptată a acestei energii din atomi prin fuziunea nucleară.

Dacă galaxiile și stelele nu s-ar fi format, universul ar fi dispărut de mult prin moarte termică. Ar fi fost acum un loc întunecat și rece. Energia zăvorâtă în stele nu face decât să amâne

inevitabilul. Într-un anumit sens, moartea termică a universului e deja în curs. De fapt, galaxiile nu sunt decât mici centre de rezistență izolate față de entropia care crește rapid în jurul lor. Radiația de fond de microunde, cu temperatura ei de doar trei grade deasupra lui zero absolut, este dovada că universul s-a destins deja aproape complet.

Unii autori cred că moartea termică a universului nu se va petrece niciodată, chiar dacă expansiunea va continua pe veci. Din moment ce spațiul disponibil pentru materia din univers crește mereu, susțin ei, va fi mereu mai mult loc în care el să se răspândească. E fals. Odată ce materia și radiația sunt uniform răspândite prin spațiu, orice expansiune ulterioară nu va face decât să reducă densitatea (cantitatea de materie dintr-un volum dat), și nu va modifica starea de echilibru.

Într-un univers sortit să colapseze sub propria-i gravitație entropia va continua să crească. N-are importanță dacă nu va conține atunci decât radiație rece, fiindcă nu-i nevoie de aglomerare gravitațională în sensul obișnuit. Big crunch-ul nu seamănă cu formarea galaxiilor de la începutul universului. În cursul colapsului, întregul univers se închide în sine însuși. Cel mai bun mod de a concepe asta e să privim universul ca pe un resort. Expansiunea e ca întinderea resortului. Dacă e întins prea mult, nu va reveni niciodată la starea inițială în formă

de spirală. Dacă întinderea e mai blândă, se va lăsa tras până la un punct, dar va reveni apoi la starea inițială. În același fel, universul la expansiunea maximă posedă în continuare energie potențială gravitațională. Entropia maximă e atinsă la big crunch, care marchează sfârșitul timpului: vârful săgeții termodinamice a timpului.

În explicația de mai sus am simplificat mult lucrurile. Am spus că deocamdată nu s-a ajuns la un consens real în privința săgeții timpului în cosmologie, iar raționamentul prezentat este departe de a fi ultimul cuvânt în această problemă.

După ce ați văzut cât de derutant poate fi timpul ca noțiune de sine stătătoare, sunteți în sfârșit pregătiți pentru întâlnirea cu teoria relativității speciale, în care Einstein a reușit să contopească spațiul și timpul pentru a forma spațiul-timp 4-dimensional. Nu vă speriați. În comparație cu divagațiile adesea metafizic suprarealiste din acest capitol, relativitatea specială vi se va părea de o claritate cristalină. Vă îndoiți cumva?

---

28. În original, *What is time?* („Ce e timpul?“), în loc de *What time is it?* („Cât e ceasul?“). (*N. t.*)

29. În afară de problema puterii de calcul, subliniată aici de Al-Khalili, mai e și problema determinării pozițiilor și vitezelor particulelor la un moment dat. Pentru a afla evoluția unui sistem fizic,

ar trebui să le cunoaștem cu precizie absolută. Există sisteme fizice simple (cu un număr mic de componente) la care o infimă imprecizie în cunoașterea pozițiilor și vitezelor la un moment dat conduce la o imprecizie uriașă în estimarea evoluției după foarte scurt timp. (*N. t.)*

30. Îmi dau seama că folosirea cuvântului „impredictibil“ poate induce în eroare. Mecanica cuantică e impredictibilă doar în același fel în care e impredictibil rezultatul atunci când dai cu banul. Dacă însă arunci o monedă de o sută de ori, atunci cam jumătate din rezultate vor fi cap, iar cealaltă jumătate pajură. Există deci o regulă statistică bine definită care se aplică în cazul unui număr mare de încercări. Mecanica cuantică poate fi concepută în felul acesta. (*N. a.*)

31. Se vorbește în general despre trei principii (legi) ale termodinamicii, dar există și principiul zero care afirmă tranzitivitatea echilibrului termic (temperaturii): dacă două sisteme sunt în echilibru termic cu un al treilea, ele se află în echilibru termic între ele. (*N. t.*)

32. Desigur, amestecând mai departe cărțile de joc ele vor fi dezordonate în alt fel, dar nu vom putea spune că sunt mai dezordonate. (*N. a.*)

33. Pentru o discuție amplă privind săgeata timpului și o critică a noțiunii de săgeată termodinamică, vezi Richard Muller, *Acum. Fizica timpului* (Editura Humanitas, București, 2020). (*N. t.*)

34. Conjugarea de sarcină (C) transformă particulele în antiparticulele lor, și viceversa; prin transformarea de paritate (P), cele trei axe spațiale

ale unui sistem de coordonate sunt inversate (ca și cum ai obține imaginea în oglindă a unui obiect). Experimentul citat demonstrează că, aplicând simultan aceste două transformări, legile fizicii nu rămân neschimbate (simetria CP e violată). (*N. t.*)

35. Concluzia inițială a lui Stephen Hawking și recunoașterea ulterioară a erorii sunt bine documentate, dar există alți fizicieni, la fel de celebri, care n-au avut aceeași onestitate și integritate ca Hawking, și n-au făcut o retractare publică după ce teoriile lor au fost infirmate. Hawking însuși spunea: „Ar trebui să existe o revistă pentru retractări, în care oamenii de știință să-și recunoască greșelile. Probabil însă că nu s-ar găsi prea mulți să publice în ea.“ (*N. a.*)

6
Timpul lui Einstein

„A, asta explică totul“, a reluat Pălărierul. „Timpul nu suportă să fie bătut. Dar, să știi, dacă te-ai înțelege bine cu el, ar fi gata să facă tot ce dorești cu ceasul tău. […] dar poți păstra ora unu și jumătate cât de mult dorești.“ — LEWIS CARROLL – *Alice în Țara minunilor*[36]

CE-I ATÂT DE SPECIAL ÎN RELATIVITATEA SPECIALĂ?

Acest capitol este, într-un fel, sala mașinilor pentru cartea de față. Până acum, v-am cerut să vă închipuiți dimensiuni suplimentare, să acceptați că gravitația poate curba spațiul și timpul și să mă credeți pe cuvânt în legătură cu ceea ce bănuim că se întâmplă atunci când cazi într-o gaură neagră. N-am aprofundat însă aceste idei suficient pentru a vă face să înțelegeți raționamentele care au condus la ele, ceea ce ar fi depășit cadrul cărții de față. Altfel stau lucrurile cu acest capitol. Nu pot lăsa deoparte raționamentul care a condus la

perspectiva lui Einstein asupra spațiului și timpului. Veți vedea aici adevăratul său geniu și, sper, veți înțelege concluziile inevitabile, dar uimitoare, la care a fost obligat să ajungă.

Cu zece ani înainte de a-și publica în 1915 teoria relativității generale, Einstein a arătat cum sunt legate între ele spațiul și timpul. Aici apare ideea de timp ca a patra dimensiune. Teoria lui s-a numit relativitatea specială, iar abia după ce a înțeles structura acestui „spațiu-timp“ și-a putut îndrepta atenția asupra teoriei lui generale, în care a arătat cum poate curba gravitația spațiul-timp.

Einstein a prezentat lumii teoria relativității (numită acum relativitatea specială) în 1905, pe când avea 26 de ani, dar s-a gândit la noțiunile care au condus la ea încă din adolescență. Einstein e celebru azi pentru relativitatea specială, deși ea a fost înlocuită câțiva ani mai târziu de relativitatea generală, iar confirmarea experimentală a acesteia l-a făcut cunoscut publicului larg. Articolul lui Einstein despre relativitatea specială n-a fost nici măcar considerat cea mai importantă lucrare a sa din 1905. A trebuit să treacă un timp până să-și găsească ecou. Să ne amintim că a primit Premiul Nobel pentru demonstrarea faptului că lumina e compusă din particule. Așadar, ce face ca teoria specială să fie atât de specială?

Prezentările relativității speciale adresate publicului larg susțin adesea că e vorba de celebra formulă

$$E = mc^2$$

Este adevărat, iar această formulă simplă e cea care ne-a condus spre era atomică, însă relativitatea specială e mult mai profundă. E ca și cum ai reduce revoluția industrială la apariția motorului cu aburi. În realitate, revoluția industrială a însemnat mult mai mult decât o unică invenție. Nu-i vorba doar că puterea politică a trecut de la proprietarii de pământuri la capitaliștii industriali, dar, odată cu apariția ulterioară a motorului cu combustie internă și a electricității, a avut loc o schimbare radicală în viața oamenilor de rând. În mod asemănător, relativitatea specială înseamnă mult mai mult decât $E = mc^2$, ea a vestit o revoluție în fizică. A arătat că vechile noțiuni de spațiu și timp trebuiau înlocuite cu concepte noi, atât de puțin familiare, încât nici azi nu ne putem dezbăra de „vechile noțiuni“. Einstein a demonstrat că spațiul și timpul pe care chiar și acum majoritatea oamenilor le consideră „de bun-simț“ sunt noțiuni false, iar toate experimentele efectuate de atunci au confirmat, cu tot mai mare precizie, că Einstein a avut dreptate. Vom vedea în acest capitol de ce le-a fost atât de greu multor oameni să-i accepte ideile, chiar și după o sută de ani.

Formulând legile mișcării, Newton a desăvârșit edificiul mecanicii clasice. Ele descriu mișcarea obiectelor și felul în care forțele precum gravitația acționează asupra acestora accelerându-le, frânându-le sau schimbându-le direcția de mișcare. Cea mai cunoscută dintre legi e pesemne a treia (vă amintiți probabil din școală că fiecărei acțiuni îi corespunde o reacțiune egală și de sens contrar), dar (din pură coincidență, la fel ca în termodinamică) cea mai importantă este a doua, care ne spune cum se comportă un corp atunci când e împins.

Toate obiectele aflate în mișcare pot fi împărțite în două categorii: cele care nu resimt vreo forță (și fie sunt în repaus, fie se deplasează în linie dreaptă cu viteză constantă) și cele aflate sub influența unei forțe care le schimbă viteza sau direcția de deplasare. Din a doua categorie fac parte obiectele în cădere, o mașină care accelerează, frânează sau cotește, ba chiar și o bilă care se rostogolește pe o suprafață plată, fiindcă rezistența aerului și frecarea sunt forțe care acționează pentru a încetini bila. Legile de mișcare ale lui Newton acoperă toate cazurile de mai sus cu o precizie care, în situațiile din viața de zi cu zi, e remarcabilă.

Teoriile relativității ale lui Einstein nu se limitează la enunțarea unor legi de mișcare. El a avut nevoie de două teorii fiindcă trebuia să

facă deosebirea între cele două categorii de mișcare pomenite mai sus. Relativitatea specială se ocupă de corpuri în mișcare liberă la viteză constantă și în absența gravitației. Când apare forța gravitațională, trebuie să ne îndreptăm spre relativitatea generală.

Ați văzut deja că legea newtoniană a gravitației e doar o aproximație a relativității generale, dar funcționează foarte bine în câmpuri gravitaționale slabe, cum e cel al Pământului. La fel, legile de mișcare ale lui Newton sunt doar o aproximare a relativității speciale, însă diferențele apar numai când obiectele se deplasează cu viteze foarte mari. În viața de zi cu zi ne putem mulțumi cu precizia mecanicii newtoniene. Chiar și NASA folosește legile lui Newton pentru a calcula traiectoria pe care trebuie s-o urmeze o rachetă pentru a ajunge la Lună, iar rachetele sunt pesemne obiectele cele mai rapide la care ne gândim de regulă. Desigur, vitezele mari despre care vorbesc eu, cele la care legile lui Newton încetează să mai fie valabile, sunt mult mai mari decât vitezele atinse azi de rachete. De fapt, suntem nevoiți să apelăm la relativitatea specială doar în cazul corpurilor a căror viteză e o fracțiune semnificativă din viteza luminii (trei sute de mii de kilometri *pe secundă*). În cele ce urmează voi da adesea exemple de obiecte care se deplasează cu viteze apropiate de cea a

luminii, dar asta numai pentru a sublinia clar efectele relativiste, așa că nu trebuie să luați exemplele *ad litteram*.

Tradițional, relativitatea specială e explicată în mai multe moduri. De obicei, se deduce un set de ecuații algebrice numite ecuațiile transformărilor Lorentz. Nu vă îngrijorați, nu vom urma această cale. Al doilea mod presupune folosirea unor grafice numite diagrame spațiu-timp. Mulți autori de cărți adresate publicului larg apelează la asemenea diagrame fiindcă se gândesc că sunt mai simplu de interpretat decât ecuațiile abstracte. Într-un fel, e adevărat. Majoritatea oamenilor sunt familiarizați cu tot soiul de grafice. Ziarele și televiziunile prezintă evoluția popularității partidelor politice în sondajele de opinie sau fluctuațiile prețurilor acțiunilor de la bursă. Companiile își prezintă datele în rapoartele anuale sub formă de diagrame sectoriale sau histograme. Asemenea metode grafice dau multe informații și sunt simplu de interpretat, dar diagramele spațiu-timp sunt cu totul altceva. Dacă ai înclinații matematice, le vei găsi probabil foarte utile, altminteri însă vor fi aproape la fel de impenetrabile ca formulele algebrice. Voi urma așadar o a treia cale pentru a explica ideile lui Einstein. Mă voi limita la cuvinte.

În fond, despre ce e vorba? Vă întrebați pesemne de ce nu m-am apucat pur și simplu să

explic, în locul acestei introduceri obositoare. Relativitatea specială merită însă respect. Concluziile ei oferă materie primă pentru o mare parte din SF și sunt sinonime cu numele lui Einstein. Drept exemplu, voi cita două dintre cele mai frecvente întrebări puse în fizica modernă:

• De ce nu poate călători nimic mai repede decât lumina?

• De ce ticăie ceasurile mai lent atunci când ne deplasăm foarte repede? (Asta n-are legătură cu ceasurile deșteptătoare care sunt azvârlite prin dormitor.)

Când cineva îmi pune aceste întrebări, îi răspund de regulă că trebuie să urmeze un curs de relativitate specială dacă vrea să ajungă la esența lucrurilor, căci e nevoie să treci printr-un număr de pași logici ca să te convingi. În capitolul de față vă voi conduce prin acești pași. Dacă nu vă interesează răspunsurile la întrebările de mai sus și sunteți dispuși să acceptați că nimic nu poate călători mai repede decât lumina și că ceasurile care se deplasează rapid ticăie mai lent, atunci puteți sări peste următoarele câteva pagini, dar, odată ce ați ajuns atât de departe, cred că n-o veți face.

CELE DOUĂ FEȚE ALE LUMINII

Am vorbit despre proprietățile stranii ale luminii la începutul capitolului 5, drept

introducere la găurile negre. Mă întorc acum la problema luminii nu doar fiindcă e „util“, ci fiindcă stă la baza întregii relativități speciale.

În secolul XIX, Thomas Young (englezul care a contrazis ideea lui Newton că lumina e alcătuită din particule) și James Clerk Maxwell (scoțianul care a descoperit că lumina e o undă electromagnetică) au arătat fără putință de tăgadă că lumina se comportă la fel ca undele. Există azi numeroase experimente care dezvăluie clar și elegant natura ondulatorie a luminii. E drept, mecanica cuantică a arătat apoi că, în anumite condiții, lumina se poate comporta și ca un fascicul de particule, dar în cele ce urmează vom face apel la natura ei ondulatorie.

O proprietate importantă a undelor este că ele au nevoie de ceva în care să se deplaseze, un mediu prin care vibrațiile se pot propaga. Când vorbești cu cineva care stă lângă tine, undele sonore călătorind de la gura ta la urechea lui au nevoie de aerul dintre voi prin care să se deplaseze. La fel, valurile de pe suprafața mării au nevoie de apă, iar „cocoașa“ care se deplasează de-a lungul unei frânghii când smucești unul din capete are nevoie de frânghie. E limpede, fără mediul care s-o transporte, nu poate exista nici o undă. De aceea fizicienii din secolul XIX erau convinși că lumina, odată ce se confirmase că e o undă, avea și ea nevoie de

un mediu. Iar fiindcă nimeni nu văzuse un asemenea mediu, trebuiau să găsească o modalitate de a-i demonstra existența.

A fost botezat *eterul luminifer* – a nu se confunda cu substanța chimică folosită ca anestezic – și s-a declanșat căutarea lui. Dacă într-adevăr exista, trebuia să aibă anumite proprietăți. Mai întâi, trebuia să cuprindă întregul spațiu pentru ca lumina stelelor să ajungă la noi, să existe pretutindeni, chiar și în spațiul gol din interiorul atomilor. O proprietate importantă a eterului era că nu putea interacționa cu obiectele materiale, deci nu putea fi antrenat atunci când acestea se deplasau – ceea ce fusese confirmat încă din 1729 printr-o proprietate a luminii numită aberație.

Nimic altceva nu se știa despre eter. Se spera că progresele din domeniul opticii vor începe să lămurească lucrurile, dar nimeni nu se aștepta la ceea ce avea să urmeze.

În 1907, A.A. Michelson a devenit primul american laureat Nobel în fizică pentru un experiment efectuat în 1887 împreună cu E.W. Morley – pesemne cel mai celebru experiment din întreaga istorie a fizicii. Michelson inventase un dispozitiv numit interferometru, care se baza pe natura ondulatorie a luminii pentru a măsura timpul în care un fascicul de lumină parcurge o distanță dată, dar nimeni nu putea să prevadă că rezultatul experimentului

său va fi crucial. Pentru a-i înțelege importanța trebuie să cercetăm mai atent felul în care se deplasează undele.

Fizica ne spune că toate undele călătoresc cu o viteză care nu depinde de viteza sursei lor. Gândiți-vă la sunetul unei mașini care se apropie în mare viteză. Undele sonore ajung la urechea ta înaintea mașinii fiindcă se deplasează mai repede, dar viteza lor e dată de rapiditatea cu care le pot transmite moleculele de aer în vibrație. Ele nu ajung la tine mai repede pentru că ar fi cumva „împinse“ de mașina aflată în mișcare. Ceea ce se întâmplă e că undele sunt comprimate la frecvențe mai înalte și lungimi de undă mai mari în fața mașinii (efectul Doppler), dar viteza sunetului nu se schimbă.[37]

Undele sonore se propagă prin aer cu viteza de 1 200 km/h. Această viteză nu depinde de viteza cu care se deplasează mașina. Dacă mașina călătorește cu 100 km/h, șoferul ar vedea undele sonore (presupunând că ele pot fi văzute) deplasându-se în fața lui cu doar 1 100 km/h (1 200 minus 100). Cu cât merge mai repede mașina, cu atât scade viteza relativă a undelor sonore pe care o vede șoferul. Însă pentru un observator în repaus care urmărește mașina apropiindu-se, undele sonore se propagă mereu cu 1 200 km/h, indiferent cât de repede merge mașina. Dacă șoferul și observatorul staționar se contrazic în legătură cu viteza sunetului, șoferul trebuie să admită că viteza cu

care el observă că se propagă undele nu e viteza adevărată, fiindcă și el se deplasează în raport cu moleculele de aer.

Michelson și Morley au aplicat acest principiu undelor de lumină. Ei au presupus că Pământul se deplasează prin eter pe măsură ce se rotește în jurul Soarelui (cu aproximativ 100 000 km/h). Experimentul lor e destul de complicat, așa că nu voi intra în detalii. E de ajuns că spun că au măsurat cu foarte mare precizie timpul în care lumina dintr-un laborator străbate două drumuri de lungime egală, unul în direcția de deplasare a Pământului, celălalt în direcția perpendiculară pe aceasta. Aflându-se în laboratorul de pe Pământ și observând viteza luminii, ei erau ca un șofer care măsoară undele sonore emise de mașină la viteze diferite, în funcție de direcția în care privea. În fond, pentru el, undele sonore propagate drept în sus s-ar deplasa tot cu 1 200 km/h.

Dacă eterul ar exista, iar Michelson și Morley știau că Pământul trebuie să se miște liber prin el, atunci lumina propagându-se de-a lungul celor două drumuri diferite ar parcurge cele două distanțe în timpi diferiți. Asta ar arăta că, în raport cu Pământul aflat în mișcare, lumina se deplasează cu viteze diferite în cele două direcții. Deși viteza luminii este 300 000 km/s, adică de 10 000 de ori mai mare decât viteza Pământului, interferometrul lui Michelson era suficient de precis pentru a detecta o diferență

de timpi între cele două fascicule, dacă ar fi existat vreuna. Dar n-a fost găsită nici o diferență. De atunci, numeroase experimente precise folosind fascicule laser au confirmat rezultatul lui Michelson și Morley.

Experimentul lor a arătat că lumina nu e la fel ca celelalte unde. Călătorește cu aceeași viteză indiferent dacă te apropii sau te îndepărtezi de sursa ei. Nu exista un fundal fix în raport cu care să poată fi măsurată, așa încât nu era nevoie de eter.

Majoritatea fizicienilor de la acea vreme au refuzat să creadă asta și au încercat să modifice legile fizicii pentru a fi în acord cu noul rezultat, însă fără succes. Ei au susținut că lumina se comportă ca un flux de particule (fiindcă asta ar fi explicat rezultatul), dar experimentul fusese anume conceput pentru a detecta natura ondulatorie a luminii: franjele de interferență a două unde, într-un mod asemănător celui în care Thomas Young demonstrase natura ondulatorie a luminii. Oricum însă, dacă se admitea că lumina e compusă din particule, nu mai era nevoie de eter, fiindcă acestea n-au nevoie de un mediu prin care să se deplaseze.

EXPERIMENTE MINTALE ȘI PROBLEME DERUTANTE

Einstein era abia un copil când Michelson și Morley și-au efectuat experimentul. Chiar și în

adolescență însă a reflectat la proprietățile neobișnuite ale luminii născocind experimente mintale (faimoasele lui *Gedankenexperimente*). A încercat să se închipuie pe sine zburând cu viteza luminii și ținând o oglindă în față. Și-ar vedea chipul reflectat? Cum ar putea lumina de pe fața lui atinge oglinda, dacă oglinda însăși se deplasează cu viteza luminii? După ani de meditație, a ajuns la două afirmații simple – principiile relativității. Ele pot fi formulate astfel:

1. Nu poți face nici un fel de experimente care să-ți spună dacă stai nemișcat sau te deplasezi cu viteză constantă. Toate mișcările sunt relative și nimic nu e cu adevărat în repaus.

2. Lumina se comportă ca o undă, iar viteza ei nu depinde de viteza sursei. De asemenea, spre deosebire de celelalte unde, nu are nevoie de un mediu prin care să se propage.

V-ați putea gândi că sunt afirmații inocente la care n-ați avea nimic de obiectat. Par prea simple pentru a oferi răspunsuri la întrebările puse la începutul capitolului despre limita superioară a vitezei luminii și încetinirea timpului. Credeți-mă însă că, deși par inocente, acceptându-le îți vei vinde sufletul diavolului.

Mai întâi, dați-mi voie să vă arăt că ambele sunt adevărate. Primul postulat sugerează că dacă efectuezi un experiment simplu – cum ar fi să lași să cadă o bilă – când ești la bordul unui avion care zboară cu viteză constantă, vei

constata că bila cade vertical la fel cum s-ar întâmpla dacă ai efectua experimentul la sol. Ești așadar egal îndreptățit să spui că avionul e în repaus, iar Pământul se mișcă sub tine cu câteva sute de kilometri pe oră în direcția opusă. Un exemplu mai clar este cel în care două rachete se deplasează una spre alta prin spațiu, cu viteză constantă. Dacă motoarele ambelor rachete sunt stinse, echipajul nici uneia din ele nu poate spune dacă rachetele se îndreaptă una spre alta sau una e în repaus, iar cealaltă se apropie de ea. E inutil să te raportezi la o stea din vecinătate, fiindcă nimeni nu-ți garantează că aceasta e într-adevăr în repaus.

Al doilea postulat a fost confirmat de experimentul lui Michelson și Morley, iar luat de unul singur pare inofensiv. Abia când combinăm cele două postulate încep necazurile. Știu că sună ca sfatul unui medic, însă vă cer să fiți curajoși, fiindcă cele ce urmează s-ar putea să vă șocheze.

Am stabilit că lumina care ajunge la noi de la o sursă va călători cu aceeași viteză, indiferent cât de repede se deplasează sursa. Cum însă nu are un mediu prin care călătorește și în raport cu care să-i măsurăm viteza, putem spune la fel de bine că nu sursa se deplasează spre noi, ci noi ne deplasăm spre sursă, odată ce toate mișcările sunt relative – ceea ce nu înseamnă decât că lumina se supune primului principiu al relativității.

Să considerăm din nou cele două rachete care se apropie una de alta. Un astronaut de la bordul uneia din ele lansează un fascicul de lumină spre cealaltă rachetă, și măsoară viteza luminii care părăsește racheta lui. Odată ce are tot dreptul să spună că se află în repaus, iar numai cealaltă rachetă se mișcă, el vede lumina îndepărtându-se cu viteza obișnuită de 300 000 km/s. În același timp, un astronaut de la bordul celeilalte rachete poate spune și el că se află în repaus. Va măsura că viteza luminii care se apropie de el este de 300 000 km/s, ceea ce nu i se va părea deloc surprinzător, fiindcă viteza fasciculului nu depinde de viteza cu care se apropie sursa lui. Ambii măsoară aceeași viteză a luminii, deși se deplasează unul în raport cu altul! E uimitor și contrazice bunul-simț.

Putem răspunde acum la întrebarea lui Einstein legată de oglindă. Oricât de mult s-ar apropia de viteza luminii – și voi explica mai târziu de ce nu poate ajunge niciodată la ea –, își va vedea întotdeauna chipul reflectat, fiindcă, indiferent de viteza lui, el va vedea mereu că lumina călătorește cu aceeași viteză de la fața lui la oglindă și înapoi.

Putem reformula asta mai limpede imaginându-ne că aprindem o torță, apoi ne deplasăm de-a lungul fasciculului cu o viteză de trei sferturi din viteza luminii în raport cu cineva care a rămas să țină torța. Bunul-simț îți

spune că vei vedea lumina deplasându-se înaintea ta, dar numai cu o viteză reprezentând un sfert din cea inițială. Corect?

Greșit! Vei vedea că lumina se deplasează cu aceeași viteză pe care o măsoară și cel care ține torța.

ÎNCETINIREA TIMPULUI

Am ajuns la strania situație de mai sus urmând un număr de pași logici cuplați cu descoperiri experimentale certe. Unde e deci greșeala? În fond, e același fascicul de lumină, sunt aceleași unde electromagnetice sau aceiași fotoni – sau orice consideri că alcătuiește lumina care părăsește torța. Cum se poate ca tu, călătorind de-a lungul fasciculului cu o fracțiune însemnată din viteza luminii, să-l vezi îndepărtându-se de tine cu aceeași viteză ca viteza măsurată de cel care ține torța? Asta nu se poate întâmpla decât dacă *timpul tău se scurge într-un ritm mai lent decât timpul lui*. Dacă el ar vedea un cronometru pe care-l ai asupra ta, ar vedea că acesta măsoară secundele mai încet decât cronometrul lui. Dacă ar putea măsura cumva de la distanță bătăile inimii tale, ar găsi că ele sunt mai rare. Din perspectiva lui, tot ce e legat de tine se petrece mai lent. Dar asta nu-i totul: uitând pentru o clipă de fasciculul de lumină, din primul principiu al relativității rezultă că și tu ai putea la fel de bine considera

că prietenul tău care a rămas pe sol se deplasează în direcție opusă cu trei sferturi din viteza luminii. Ai vedea că timpul lui se scurge mai încet decât timpul tău!

Aceasta nu-i vreo teorie excentrică născocită pentru a explica ideea ridicolă că lumina călătorește cu aceeași viteză din perspectiva oricui. Ideea legată de viteza luminii nu-i deloc ridicolă, și e confirmată acum mereu în experimentele din acceleratoarele de particule. Acestea sunt laboratoare uriașe, cu tunele circulare subterane lungi de mai mulți kilometri, prin care circulă particule subatomice la viteze apropiate de cea a luminii, laboratoare cum este celebrul CERN din Elveția. Încetinirea (*dilatarea*) timpului e o consecință inevitabilă a comportamentului particulelor la viteze mari.

Dați-mi voie să vorbesc pe scurt despre aceste experimente cu particule. Se știe că anumite particule subatomice numite *pioni* emit fotoni. Când un pion e în repaus, fotonul va fi lansat cu viteza luminii (e o particulă de lumină). La CERN însă pionii pot fi accelerați în tunelul circular subteran până foarte aproape de viteza luminii. Și ei emit fotoni, iar fotonii propagându-se în direcția de deplasare a pionilor pot fi detectați, iar viteza lor poate fi măsurată. Viteza lor e aceeași cu viteza cu care sunt emiși de un pion aflat în repaus. Prin urmare, viteza aceluiași foton emis de pionul în

mișcare măsurată de noi, în laboratorul staționar, este egală cu viteza lui în raport cu pionul.

Cât privește încetinirea timpului, vă propun următorul experiment mintal. În figura 6.1 e reprezentată o incintă conținând o sursă de lumină, un detector jos și o oglindă sus. Sursa, orientată drept în sus, emite un puls de lumină care ricoșează pe oglinda de sus și ajunge jos la detector, moment în care detectorul semnalează sosirea pulsului. Conform cuiva aflat în interiorul incintei, luminii îi ia un anumit timp pentru a parcurge drumul de la sursă la oglindă și înapoi la detector. Să ne închipuim acum că întreaga incintă se deplasează lateral cu o viteză apropiată de cea a luminii. Pentru un observator extern (presupunând că fața incintei e de sticlă), fasciculul parcurge un drum mai lung decât drumul sus-jos văzut de observatorul din incintă. Totuși, observatorul extern măsoară că lumina se deplasează cu aceeași viteză. Cum însă lumina străbate o distanță mai mare (linia întreruptă), se va fi scurs un timp mai lung până să ajungă înapoi la detector.[38] Prin urmare, a trecut mai mult timp conform unui ceas aflat la sol decât conform unui ceas aflat în incintă. Cum ambele ceasuri măsoară durata aceluiași proces (timpul în care lumina se deplasează în sus și în jos în incintă), timpul din incintă trebuie să se scurgă mai încet pentru ca ceasul de acolo să înregistreze o durată mai scurtă!

Această explicație nu spune însă chiar totul, fiindcă observatorul din incintă, la rândul lui, va vedea că ceasul observatorului extern merge mai încet decât al lui (căci pe drept cuvânt poate spune că el este cel care se află în repaus). În plus, a afirma că cineva „vede“ ceva presupune ca lumina să ajungă la ochii acelei persoane de la obiect (chiar dacă obiectul e lumina însăși), iar luminii îi ia un timp finit pentru a ajunge la el.

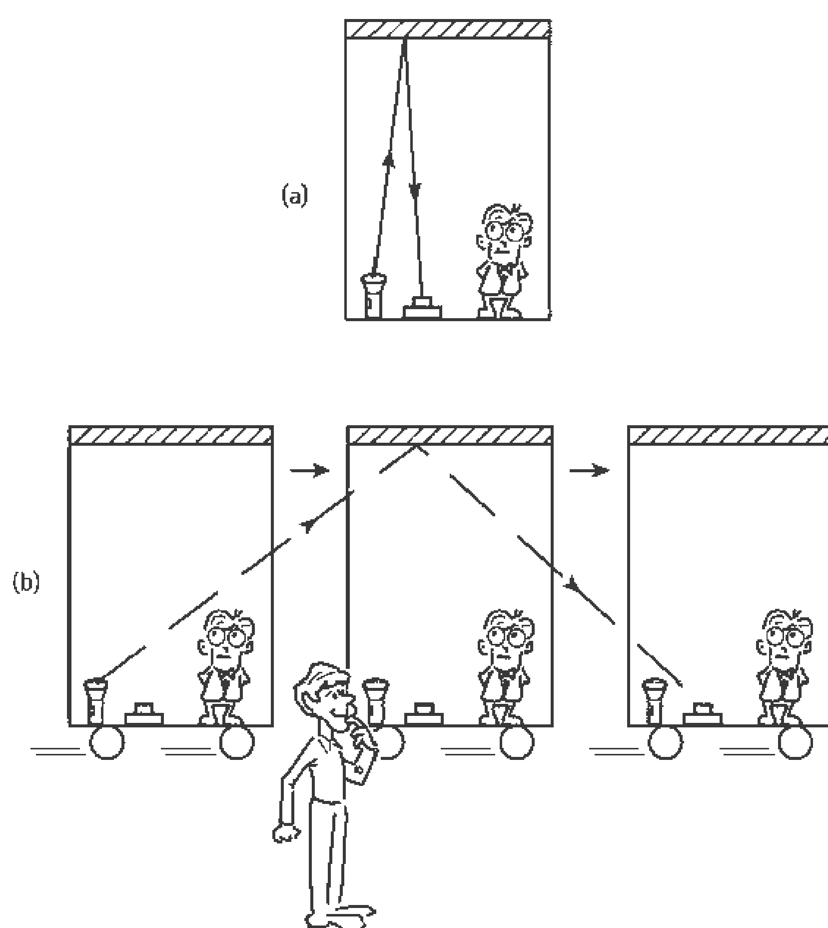


Figura 6.1 (a) Un observator dintr-o incintă aflată în mișcare vede pulsul de lumină străbătând aproximativ dublul înălțimii incintei într-o călătorie dus-întors. (b) Pentru un observator extern, lumina străbate o distanță mai lungă. Cele trei desene sunt instantanee la momente succesive. În stânga e poziția incintei când e emis pulsul de lumină, în mijloc când pulsul atinge oglinda, iar în dreapta când pulsul ajunge la detector. Dacă ambii

observatori cad de acord asupra vitezei luminii (așa cum trebuie), singura posibilitate ca lumina să străbată distanțe diferite este ca observatorii să fie în dezacord privind timpul cât durează călătoria ei dus-întors.

Așadar, ceasurile în mișcare merg mai încet, iar exemplul de mai sus arată cum se întâmplă asta. Adesea, cei care află pentru prima dată de acest efect au impresia că mișcarea rapidă influențează mecanica ceasului, că ceasul răspunde cumva la viteza cu care se deplasează. Greșit. De fapt, cum mișcarea e relativă, persoana din interiorul incintei (în exemplul de mai sus) poate pe drept cuvânt susține că nu se mișcă, iar observatorul extern călătorește cu o viteză apropiată de viteza luminii. Dovada e că va vedea ceasul de pe sol mergând mai încet decât ceasul din incintă. De aici decurge o aparentă contradicție logică. Cum se poate ca fiecare ceas să meargă mai încet decât celălalt? Cei care nu înțeleg relativitatea presupun că ceasurile doar *par* să meargă mai încet unul în raport cu altul, fiindcă luminii îi ia un anumit timp pentru a ajunge de la ceasuri la observatori. „Nimic nu poate denatura mai mult teoria relativității“, spune A. Smith în cartea sa *Introduction to Special Relativity*. Când vom discuta paradoxul gemenilor vom vedea că timpul poate fi încetinit accelerând, iar apoi decelerând un ceas.

Vă gândiți pesemne că, la urma urmei, asta e doar o teorie. O fi bună pentru autorii de SF, dar cu siguranță nu-și are locul în „lumea reală“. Dacă ritmul în care ticăie ceasurile poate depinde de mișcarea lor relativă, de ce ne-am mai bate capul să construim ceasuri atomice de înaltă precizie? Motivul este că efectul apare doar când ceasurile călătoresc cu viteze extrem de mari unul în raport cu altul. Cu cât un ceas se deplasează la o viteză mai apropiată de viteza luminii, cu atât va ticăi mai rar. Dacă ar călători cu viteza luminii în raport cu noi, atunci am vedea că timpul înregistrat de el s-a oprit complet.

Ca exemplu, să ne gândim la un sprinter care aleargă cursa de o sută de metri în exact zece secunde conform cronometrului extrem de precis al arbitrilor. Dacă ar avea la el un cronometru la fel de precis, ca rezultat al minusculei încetiniri a timpului în vreme ce aleargă, ceasul lui ar indica 9,99999999995 secunde. Sigur, e atât de aproape de zece secunde, încât n-am observa niciodată diferența, însă în mod curent oamenii de știință măsoară asemenea intervale de timp. Diferența dintre timpul indicat de cronometrul atletului și cel indicat de cronometrul arbitrilor este de doar cinci „picosecunde“. Diferența e atât de mică fiindcă sprinterul se mișcă mult mai lent decât lumina. Până și cele mai rapide rachete sunt prea lente pentru a apărea un efect apreciabil.

Putem așadar vedea vreodată în acțiune dilatarea timpului? Ei bine, pentru asta pot depune mărturie personal, căci, la fel ca mulți studenți la fizică, am făcut un experiment în laboratorul facultății. Experimentul implică altă particulă subatomică numită miuon, care e produsă de razele cosmice – particule de energie înaltă, provenind din spațiu, care bombardează continuu atmosfera Pământului. În atmosfera superioară sunt create astfel numeroase tipuri de noi particule, în majoritate miuoni, iar aceștia călătoresc până la suprafața Pământului. Fizicienii au studiat proprietățile miuonilor, și știu că timpul lor de viață e foarte scurt – o milionime de secundă. Desigur, această valoare a timpului de viață e doar statistică, unii pot trăi ceva mai mult, alții ceva mai puțin. Dar dacă sunt creați simultan o mie de miuoni, după o milionime de secundă vor rămâne numai vreo sută.

Miuonii creați în atmosfera superioară au o energie atât de mare, încât călătoresc spre Pământ cu incredibila viteză de 99% din viteza luminii. Însă chiar și la această viteză, tot ar dura câțiva timpi de viață pentru a acoperi distanța până la suprafața Pământului (și, mai important, până la detectorul de miuoni din laborator). I-am observa așadar numai pe cei câțiva cu timpi de viață neobișnuit de lungi, care ar putea ajunge la capătul călătoriei. În realitate, descoperim că aproape toți miuonii pot

încheia călătoria, ceea ce se explică prin faptul că timpul miuonilor (cel indicat de ceasurile lor interne care le măsoară timpul de viață) se scurge mult mai încet decât al nostru. Din perspectiva miuonilor, a trecut doar o parte din timpul lor de viață.

Altă explicație, conform căreia dintr-un motiv oarecare miuonii în mișcare rapidă ar trăi mai mult decât cei aflați în repaus, nu-i valabilă. La o analiză mai atentă vedem că e imposibil, fiindcă ar încălca primul principiu al relativității: un mion în mișcare se află în „mișcare“ doar în raport cu noi.

CONTRACTAREA DISTANȚELOR

Pentru Einstein n-a fost de ajuns să demoleze vechea idee de timp absolut, a mai venit și cu alte surprize. Imaginează-ți cum ar arăta lucrurile dacă ai sta pe un miuon în timp ce călătorește spre Pământ. Ai fi de acord cu cineva aflat pe sol și care te privește că vă apropiați unul de altul cu o viteză de 99% din viteza luminii. Cum se face atunci că el te-ar vedea străbătând distanța de o milă, să zicem, în cinci milionimi de secundă (cinci timpi de viață ai miuonului) după ceasul de pe Pământ, iar tu afirmi că străbați aceeași distanță în doar o zecime din acel timp? Aici nu sunt implicate fascicule de lumină, și crezi că singura relație matematică de care ai nevoie este cea care

spune că viteza e distanța împărțită la timp. Cum se face că sunteți de acord în privința vitezei cu care vă mișcați unul față de altul, dar nu și în privința timpului în care e străbătută acea distanță?

Altceva trebuie să se schimbe, iar acum e vorba de distanță. Pentru a obține aceeași valoare a vitezei miuonului în ambele cazuri (împărțind distanța la timp), distanța parcursă, așa cum e văzută de miuon, trebuie să fie o zecime din valoarea care se vede de pe Pământ – pentru miuon, distanța va fi contractată până la mult mai puțin decât o milă. Asta explică de ce poate supraviețui călătoriei: nu are de străbătut o distanță atât de mare.

Această proprietate a călătoriei la viteze mari poartă numele de *contractarea lungimii*. Obiectele în deplasare rapidă par mai scurte decât dacă se află în repaus. În exemplul miuonilor, obiectul în cauză e grosimea atmosferei. Un irlandez și un olandez au fost primii care au propus ideea acestui efect curând după experimentul lui Michelson și Morley și cu câțiva ani înainte de apariția relativității speciale. George FitzGerald și Hendrik Lorentz au arătat că rezultatul experimentului poate fi explicat dacă ar exista o contractare a lungimilor la viteze mari, ceea ce ar salva ideea de eter. Lorentz a ajuns chiar să deducă un set de ecuații care acum îi poartă numele. Din păcate pentru el, n-a avut intuiția unui ultim pas

care să-l conducă la postulatul al doilea al relativității. Într-un fel, o mare parte din munca preliminară fusese deja făcută înaintea lui Einstein, de aceea se spune adesea că, dacă n-ar fi descoperit el relativitatea, cu siguranță ar fi descoperit-o altcineva.

La fel ca în cazul încetinirii timpului, scurtarea lungimilor devine cu atât mai vizibilă cu cât viteza obiectului se apropie de viteza luminii. Așadar, ce efecte am observa în lumea reală? Pentru a vă da un exemplu, să ne închipuim că facem o fotografie extrem de precisă a unui avion cu reacție care zboară cu dublul vitezei sunetului (peste o mie de kilometri pe oră). Ar fi mai scurt decât era înainte de decolare, dar această contractare a lungimii ar fi mai mică decât dimensiunea unui atom, ceea ce, evident, nu poate fi măsurat într-o fotografie! Să ne amintim însă că, deși dublul vitezei sunetului pare ceva impresionant, e infim în comparație cu viteza luminii. Dacă avionul ar zbura de câteva sute de mii de ori mai repede, să zicem cu trei sferturi din viteza luminii, atunci am vedea o diferență: ar părea că are o jumătate din lungimea lui inițială. Dacă ar zbura la fel de repede ca miuonii produși de razele cosmice, ar părea comprimat la doar o zecime din lungimea lui.

Ce neplăcut pentru pilot!, v-ați putea gândi. Pesemne că e unul dintre pericolele călătoriei la viteze mari. Adevărul e că pilotul nu va simți

nimic neobișnuit. Pentru el, dimensiunile avionului (și ale lui însuși) nu s-au schimbat deloc. De fapt, conform primului principiu al relativității, el vede lumea din jurul lui contractată, așa cum ar vedea-o și miuonii – sigur, dacă miuonii ar putea vedea!

LUMINA – RECORDUL MONDIAL DE VITEZĂ

La prima întâlnire cu relativitatea, cel mai neplăcut sună afirmația că nimic nu poate călători mai repede decât lumina. Accepți ceasuri care încetinesc, lungimi care se contractă, chiar și faptul că lumina are aceeași viteză pentru toți observatorii, dar de ce să nu putem concepe că ceva s-ar deplasa cu peste 300 000 km/s? Sigur, e o viteză atât de mare încât nici unul dintre obiectele cunoscute (cu excepția particulelor subatomice) nu se poate apropia de ea, dar relativitatea specială pare să ne spună că legile naturii *interzic* ca ceva, orice, să se deplaseze mai rapid. Să ne închipuim că am construi o rachetă care poate accelera continuu, devenind tot mai rapidă. Mă rog, o asemenea rachetă e departe de posibilitățile noastre tehnologice, dar dacă ar construi-o vreo civilizație extraterestră? Ce s-ar întâmpla când atinge viteza luminii? Ar fi activat un soi de limitator cosmic de viteză? Racheta ar exploda,

ar cădea într-o gaură neagră sau ar intra într-o deformare a timpului? Nu, nu s-ar întâmpla nimic atât de spectaculos.

Există mai multe moduri de a explica de ce viteza luminii este limita superioară a vitezelor posibile în universul nostru. Am putea folosi algebra. (Minunat, îți zici, asta chiar o să mă convingă; o mulțime de ecuații, pline cu simboluri grecești, sunt tot ce-mi trebuie ca să mă lămuresc.) N-am să intru în asemenea detalii cumplite. E de ajuns să spun că în relativitatea specială vitezele se însumează într-un mod foarte ciudat. Dacă te afli într-un tren care se deplasează cu 100 km/h, și arunci pe fereastră o minge cu viteza de 10 km/h către cineva care se află afară, inițial (înainte ca vântul s-o încetinească) mingea va avea viteza de 110 km/h. Asta se numește legea însumării vitezelor. Ce se întâmplă dacă reluăm exemplul, însă la viteze mult mai mari? Să ne închipuim ce vede observatorul extern din figura 6.2. Racheta zboară cu trei sferturi din viteza luminii când lansează un proiectil care zboară cu jumătate din viteza luminii, conform astronautului din rachetă. Vede oare observatorul extern proiectilul zburând cu viteza de 1 și ¼ ori viteza luminii? Așa s-ar întâmpla dacă ar fi corectă regula obișnuită de însumare a vitezelor. Dar, așa cum se întâmplă cu mare parte din fizica valabilă în viața de zi cu zi, această lege nu mai funcționează la viteze relativiste. Formula

corectă ne spune că observatorul va vedea proiectilul deplasându-se cu 9/10 din viteza luminii. Oricât s-ar apropia racheta și proiectilul de viteza luminii, pentru un observator staționar suma vitezelor lor va fi mereu mai mare decât fiecare în parte, dar mai mică decât viteza luminii.

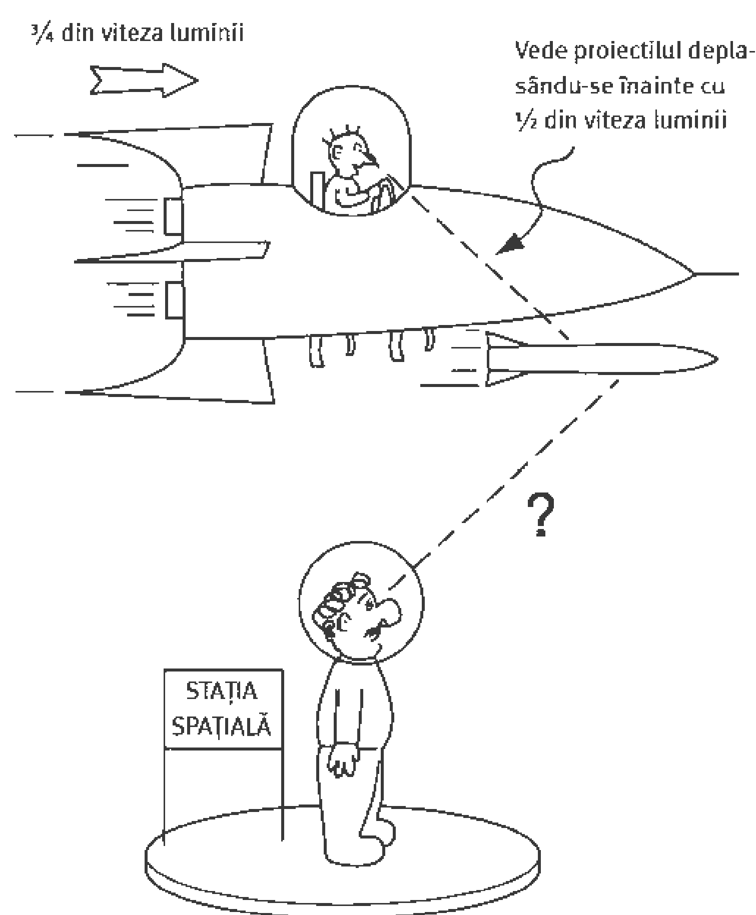


Figura 6.2 Conform regulilor normale de însumare a vitezelor, observatorul din stația spațială ar trebui să vadă proiectilul zburând cu ¾ + ½ = 1¼ ori viteza luminii. Einstein a arătat că nimic nu poate călători mai repede decât lumina, iar felul în care însumăm vitezele trebuie modificat.

Cea mai simplă explicație pentru bariera vitezei luminii se întâmplă să ne arate cum apare cea mai celebră formulă a lui Einstein ($E = mc^2$). Când Einstein a înțeles cum sunt influențate spațiul și timpul la viteze apropiate de viteza luminii, și-a pus problema ce altceva

ar mai trebui corectat. Un loc central în întreaga fizică îl ocupă *legile de conservare*, care afirmă că anumite cantități trebuie să rămână constante, chiar dacă alte cantități se modifică. Una dintre ele este legea conservării impulsului. Vă amintesc că impulsul unui corp e dat de masa înmulțită cu viteza lui – așa încât o ghiulea care se rostogolește încet pe pământ poate fi oprită din drum de un glonț care o lovește frontal. Asta se întâmplă dacă cele două au impulsuri egale, dar orientate în sens opus, deci se vor anula reciproc. Ghiuleaua are masă mare, însă viteză mică, în vreme ce glonțul are masă mică, însă viteză mare. În cele două cazuri, produsul masă ori viteză dă același număr (impulsul). Când oricare două obiecte se ciocnesc, ne așteptăm ca sumele impulsurilor lor înainte și după ciocnire să fie egale. Nu trebuie să se anuleze reciproc – acela e un caz particular –, dar de regulă unul îi va transfera celuilalt o parte din impulsul lui. Einstein a constatat că, atunci când corpurile se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii, impulsul total nu se conservă din perspectiva tuturor observatorilor. Din nou, ceva trebuia să se schimbe. De data asta era masa corpului care se deplasează cu viteză mare.

Se dovedește că, cu cât se deplasează mai repede un obiect, cu atât crește masa lui și devine cu atât mai greu să-l faci să se miște și

mai repede. Cu cât se apropie de viteza luminii, cu atât devine mai mare impulsul lui – pe seama creșterii masei, nu vitezei sale.

Să ne gândim ce se întâmplă cu masa unui obiect care se mișcă foarte repede. Cea mai importantă consecință a ecuațiilor relativității speciale este relația dintre masă și energie. Cele două sunt legate prin ecuația $E = mc^2$, care ne spune cât de multă energie e zăvorâtă într-o masă oarecare. Simbolul c reprezintă viteza luminii, deci cantitatea c^2 (viteza luminii înmulțită cu ea însăși) e într-adevăr un număr foarte mare, și explică de ce putem obține atât de multă energie dintr-o masă mică. Ecuația ne arată că putem concepe masa ca pe o energie înghețată.

Cum un obiect în mișcare capătă energie și din mișcarea lui (energie cinetică), energia lui totală va fi energia înghețată sub formă de masă, atunci când obiectul nu se mișcă, plus energia lui cinetică (energia de mișcare). Cu cât se deplasează mai repede, cu atât are mai multă energie. În general, energia înghețată a unui obiect (masa lui) e mult mai mare decât energia de mișcare, așa încât pe aceasta din urmă o putem ignora, și considera că masa e constantă. Dacă însă viteza lui se apropie de viteza luminii, energia cinetică devine atât de mare încât poate depăși energia înghețată. Astfel,

masa unui obiect în mișcare rapidă e mult mai mare decât masa lui atunci când se află în repaus.

Vedeți acum dificultatea de care ne lovim atunci când încercăm să atingem viteza luminii. Să ne închipuim o locomotivă care accelerează și trage un singur vagon. Ce s-ar întâmpla dacă, la fiecare creștere a vitezei cu zece kilometri pe oră, ar fi adăugat câte un vagon? Cu cât accelerează, cu atât are mai multe vagoane de tras, și cu atât are nevoie de mai multă putere. La fel, cu cât un corp se mișcă mai repede, cu atât va părea că are o masă mai mare, și cu atât mai greu va fi să-l accelerezi în continuare. Pentru a-l accelera până la viteza luminii, ar trebui să primească o cantitate infinită de energie, ceea ce e imposibil.

CÂND TIMPUL CURGE INVERS

Relativitatea specială ne spune că nimic nu poate fi accelerat până la o viteză mai mare decât cea a luminii, dar nu respinge posibilitatea ca lucrurile să călătorească mai repede decât lumina, cu condiția ca ele să rămână mereu de cealaltă parte a barierei vitezei luminii. Viteza luminii este deci o barieră în ambele sensuri: nimic din ce e mai lent decât lumina nu se poate mișca mai repede decât ea, și nimic din ce e deja mai rapid decât lumina nu poate încetini până la o viteză mai mică decât cea a luminii.

Fizicienii au chiar și un nume pentru ipoteticele particule „supraluminice“ care călătoresc mai repede decât lumina. Ele se numesc *tahioni* și, dacă ar exista, ar avea proprietăți stranii. De pildă, din moment ce atunci când o particule se apropie de viteza luminii timpul încetinește, iar când particula atinge viteza luminii timpul se oprește, putem face un pas mai departe și vedea că pentru tahioni timpul ar curge invers. Din perspectiva noastră, tahionii ar călători înapoi în timp! Tahionii n-ar fi ca particulele normale care încetinesc când pierd energie. Dimpotrivă, ei ar accelera, iar când un tahion își pierde toată energia, el se deplasează cu viteză infinită!

Deși relativitatea specială prezice că asemenea particule ar putea exista, nu s-a găsit nici o dovadă în privința lor, iar majoritatea fizicienilor cred că ele nu există. Oricum, sunt foarte ciudate, chiar și după standardele fizicii moderne.

Există totuși un exemplu de particule care se deplasează mai repede decât lumina. N-am menționat până acum că limita maximă a vitezei se referă la lumina care călătorește prin spațiul gol. Este vorba de viteza luminii în vid. Când lumina străbate un mediu material transparent, cum sunt sticla sau apa, ea se deplasează mai încet. Asta face să apară refracția (motivul pentru care o linguriță dintr-un pahar cu apă pare îndoită, și pentru care un bazin de înot pare mai puțin adânc decât e în realitate). Este deci

posibil ca o particulă să se deplaseze printr-un asemenea mediu cu o viteză mai mare decât viteza luminii în acel mediu. Când electronii se deplasează prin apă cu o viteză mai mare decât viteza luminii în apă, ei emit o frumoasă lumină albastră, numită *radiație Cerenkov*. Este echivalentul luminos al „bang-ului“ sonic produs de avioanele care depășesc bariera vitezei sunetului.

În fine, există exemple în care s-ar părea că viteza luminii e depășită. Cel mai celebru se leagă de „paradoxul proiectorului“. În capitolul 3 am întâlnit stelele neutronice în rotație rapidă, numite pulsari, dintre care unele se pot roti de peste o sută de ori pe secundă. Pe măsură ce se rotesc, emit un fascicul intens de unde radio care mătură Pământul ca lumina unui proiector cu aceeași frecvență ca frecvența de rotație a pulsarului. Cum pulsarii se află foarte departe (de regulă, la mii de ani-lumină), lumina pe care acest fascicul o aruncă asupra Pământului ar trebui să măture un cerc atât de mare, încât s-ar deplasa cu o viteză de bilioane de ori mai mare decât cea a luminii! La o privire mai atentă vedem însă că lucrurile nu stau așa. Undele radio provenind de la pulsar constau în fotoni (ele sunt radiație electromagnetică), iar acești fotoni emiși de pulsar călătoresc mereu cu viteza luminii. Confuzia apare pentru că ne închipuim că există ceva care se mișcă în cerc, când de fapt toți fotonii se deplasează radial

spre exterior. În realitate, nici un obiect fizic nu se mișcă pe acest cerc uriaș. Fotonii sunt ca apa împrăștiată de un aspersor rotativ în grădină.

OMULEȚII VERZI

Dilatarea timpului și contractarea lungimii oferă un mijloc de a străbate distanțe intergalactice (ceea ce s-a dovedit a fi mană cerească pentru pasionații de farfurii zburătoare). În capitolul 4 v-am ajutat să vă faceți o idee despre enormele distanțe până la stele. Chiar și vecinii noștri cei mai apropiați sunt atât de departe încât luminii provenind de-acolo îi ia câțiva ani pentru a ajunge la noi, în vreme ce majoritatea stelelor se află la distanțe de mii de ani-lumină. Asta pare să ne anuleze orice șansă de a ajunge la alte stele și la posibilele lor sisteme planetare în cursul unei vieți de om.

Aici intervine salvator relativitatea. Dacă o navă spațială ar zbura cu o viteză apropiată de viteza luminii, pentru ea distanța de străbătut s-ar contracta. O călătorie până la o stea aflată la o mie de ani-lumină ar putea dura doar câțiva ani din perspectiva astronauților de la bordul ei, datorită efectelor dilatării timpului. Dar în timpul măsurat pe *Pământ* călătoria ar dura tot o mie de ani. La urma urmei, privită de pe Pământ, nava se deplasează mai încet decât lumina. De pe Pământ am vedea că nava are de străbătut întreaga distanță necontractată, dar am

vedea și ceasurile din navă încetinite, așa încât am fi de acord cu astronauții în privința duratei călătoriei din punctul lor de vedere.

Rezultă oare de aici că e posibilă călătoria prin univers? În principiu, da, poți călători prin întregul univers vizibil, străbătând miliarde de ani-lumină, într-o singură zi, fără să atingi vreodată viteza luminii. Asta în ciuda faptului că luminii, care se deplasează mai repede decât tine, îi ia miliarde de ani pentru aceeași călătorie. Ideea este că trebuie să faci mereu deosebirea dintre durata călătoriei conform ceasurilor din navă (ele măsoară o zi) și durata măsurată de ceasurile care rămân pe Pământ (miliarde de ani). O consecință bizară este că pentru lumina însăși timpul rămâne nemișcat. Dacă ai putea atașa un ceas unui fascicul de lumină, acesta n-ar ticăi deloc. Spunem că pentru un foton timpul nu se scurge deloc (dilatare maximă a timpului), iar întregul univers are dimensiune zero (contractare maximă a lungimii)!

Din moment ce e posibil să străbați orice distanță într-un timp oricât de mic călătorind cu o viteză apropiată de viteza luminii, s-ar părea că, cel puțin în teorie, există posibilitatea să fim vizitați de ființe din alte lumi. Condiția este ca o navă extraterestră să aibă un sistem de propulsie mult mai avansat decât tot ce ne putem noi imagina. Atunci, nava ar străbate distanțele uriașe din univers în doar câteva luni sau câțiva

ani. Oricât mi-ar displăcea să risipesc această fantezie, este extrem de improbabil (dar nu imposibil, desigur) ca OZN-urile să fie veritabile farfurii zburătoare, din mai multe motive de ordin practic. Din moment ce orice navă extraterestră trebuie să se supună acelorași legi ale fizicii ca tot ce există în univers, ea nu poate călători mai repede decât lumina. Chiar dacă ar dura doar câțiva ani călătoria, conform timpului măsurat de extratereștri, pe planeta lor se vor fi scurs multe mii sau milioane de ani. Presupunând că durata vieții lor e comparabilă cu a noastră, le-ar fi imposibil să se întoarcă vreodată și să anunțe ce au găsit. Contemporanii lor ar fi de mult cu toții morți. Desigur, nu-mi pot da seama a) care e durata vieții unui extraterestru și b) dacă ei ar avea intenția să se întoarcă acasă.

CĂLĂTORIA ÎN VIITOR

Relativitatea specială a adus cu sine mai multe idei stranii, între care la loc de cinste se află aceea că timpul încetinește pentru obiectele în mișcare rapidă. Un aspect important al acestui efect, pe care nu l-am menționat până acum, este că ne oferă o modalitate de a călători înainte în timp, de a călători spre viitor! Să-l cercetăm așadar cu atenție. De-a lungul anilor, teoria relativității a fost o bogată sursă de discuții, și nu doar în rândul fizicienilor. Cea

mai misterioasă, mai dezbătută, dar și cea mai neînțeleasă dintre consecințele ei este *paradoxul ceasurilor* sau *paradoxul gemenilor*. Îl voi prezenta aici pe scurt și voi arăta că, de fapt, nu e nici un paradox.

Alice și Bob sunt gemeni. Alice are o fire aventuroasă, vrea să călătorească prin Galaxie cu racheta ei superrapidă, în vreme ce Bob preferă să rămână acasă. Într-o bună zi, Alice își ia rămas-bun de la fratele ei și se îndreaptă cu racheta ei spre sistemul Alfa Centauri, aflat la o distanță de patru ani-lumină, zburând cu două treimi din viteza luminii. Bob urmărește călătoria ei și calculează că ar trebui să ajungă la destinație în șase ani. Odată ajunsă acolo, ea se va întoarce direct pe Pământ. Ținând cont de timpul de întoarcere, el se așteaptă ca întreaga călătorie să dureze puțin mai mult de doisprezece ani. Bob e însă derutat de mesajele primite de la Alice. Nu doar că întârzierea în timp crește din cauza creșterii distanței dintre ei, dar ele sunt și deplasate Doppler către lungimi de undă mai mari. Din viteza rachetei el deduce valoarea deplasării Doppler, dar lungimile de undă sunt încă prea mari, iar Bob înțelege imediat că la mijloc e efectul relativist al dilatării timpului. Pentru el, timpul de la bordul rachetei se scurge ceva mai încet decât timpul lui, ceea ce se traduce printr-o lungime de undă mai mare a semnalului. Ținând cont de încetinirea timpului din rachetă, Bob calculează

că, din perspectiva lui Alice, călătoria ar trebui să dureze doar nouă ani, cu trei ani mai puțin decât conform timpului de pe Pământ. Asta înseamnă că, la întoarcerea acasă, Alice va fi cu trei ani mai tânără decât fratele ei geamăn! Motivul este acela că dilatarea timpului nu influențează doar ceasurile în mișcare, ci întreg timpul din rachetă, inclusiv ceasul biologic al lui Alice.

Nu aceasta e sursa „paradoxului“. Bob a folosit corect ecuațiile relativității speciale, și a calculat diferența de timp între ceasurile lui și cele ale lui Alice. Paradoxul, sau ceea ce la prima vedere pare un paradox, este că Alice nu are încredere în predicțiile fratelui ei. Ea spune că aici e încălcat primul principiu al relativității. Desigur, cum toate mișcările sunt relative, e la fel de îndreptățită să afirme că nu racheta se îndepărtează de Pământ, ci Pământul se îndepărtează de rachetă. Bob este cel care se deplasează cu două treimi din viteza luminii, iar ceasurile lui sunt cele care merg mai încet. Ea susține deci că, la întoarcerea ei acasă, se așteaptă ca Bob să fie cel mai tânăr. Această simetrie aparentă a fost de-a lungul anilor o sursă de confuzii. Nu pot avea amândoi gemenii dreptate, nu-i așa?

Există mai multe moduri de a rezolva corect problema, eu îl voi menționa pe cel mai simplu. Răspunsul este că Bob are dreptate, iar Alice se înșală, la întoarcere ea va fi mai tânără decât

fratele ei. În multe cărți despre relativitate găsiți scris că asta se datorează faptului că Alice este cea care trebuie să accelereze și să decelereze cu racheta ei, iar astfel simetria dintre cei doi gemeni e ruptă. E adevărat, dar a *spune* că situațiile lor nu sunt identice nu *explică* nimic. Motivul pentru care Alice îmbătrânește mai puțin poate fi explicat nu prin dilatarea timpului, ci prin contractarea lungimii. Din punctul ei de vedere, distanța până la Alfa Centauri nu este de patru ani-lumină, ci doar de trei, și, călătorind cu două treimi din viteza luminii, poate ajunge acolo în doar patru ani și jumătate, nu în șase ani, așa cum estimează Bob. Călătoria de întoarcere durează încă patru ani și jumătate, așa că întreaga călătorie durează nouă ani, după cum calculase Bob pe baza dilatării timpului măsurat de ceasurile ei. Motivul pentru care Alice dă un răspuns greșit apelând la faptul că vede ceasurile lui Bob mergând mai încet este acela că nu folosește corect ecuațiile relativității speciale. Ele se aplică doar observatorilor care nu își schimbă viteza sau direcția. Ea o face, însă Bob n-o face.

O diferență de trei ani la întoarcerea lui Alice poate să nu pară prea mult, așa încât să presupunem că ea ar călători mai repede, cu 99% din viteza luminii. Ea s-ar întoarce pe Pământ (ignorând timpul pentru manevra de schimbare a direcției) după opt ani și o lună, conform timpului de pe Pământ (cu o lună mai

mult decât i-ar lua luminii să efectueze aceeași călătorie). Însă conform lui Alice, călătoria ar dura doar un an. Dacă s-ar hotărî să zboare cu aceeași viteză pe o distanță mai lungă, într-o călătorie care pentru ea ar dura zece ani, la întoarcere ar găsi că pe Pământ s-au scurs optzeci de ani, iar Bob și toți cunoscuții ei ar fi morți. Ea însă ar fi doar cu zece ani mai bătrână decât la plecarea în călătorie. Acesta e un exemplu clar de călătorie în viitor. Dacă viteza rachetei s-ar apropia și mai mult de viteza luminii, ea s-ar întoarce peste mii sau chiar milioane de ani în viitor. Este deci de-ajuns să te urci la bordul unei rachete rapide și să dai câteva ture în jurul sistemului solar, iar prietenii tăi vor fi uimiți să vadă cât de tânăr ești!

Unii cred că simetria dintre mișcarea lui Alice și cea a lui Bob este regăsită dacă privim din perspectiva unui al treilea observator, de pildă un călător prin spațiu. Nu i-ar vedea el oare pe Alice și pe Bob îndepărtându-se unul de altul, iar apoi întâlnindu-se din nou? Dacă s-ar deplasa în aceeași direcția ca Alice, dar cu jumătate din viteza ei în raport cu Pământul, i-ar vedea pe gemeni îndepărtându-se de el în direcții diferite cu aceeași viteză: o imagine simetrică. Problema este că Alice trebuie să se întoarcă. Dacă al treilea observator continuă să se deplaseze în aceeași direcție cu aceeași viteză, el va vedea că Bob continuă să se îndepărteze, dar în cele din urmă Alice se va

întoarce și va veni spre el. În drumul ei spre Pământ, va trece pe lângă el. În felul acesta, simetria e ruptă.

De câțiva ani le dau ca temă studenților mei de la Universitatea din Surrey paradoxul gemenilor. Li se cere să-l studieze folosind diferite abordări. Cea mai bună dintre ele s-a dovedit a fi abordarea care apelează la un al treilea observator, calculele sunt foarte elegante.

Am întâlnit mulți oameni care credeau că acest gen de călătorie în viitor ne spune că viitorul există deja, alături de prezentul nostru. Nu e cazul. Viitorul se desfășoară pe Pământ tot timpul cât Alice e plecată, însă pentru ea se scurge mai puțin timp.

SPAȚIUL-TIMP – VIITORUL E ACOLO

Acum, că am atins subiectul delicat al viitorului, e momentul să vedem ce ne spune despre el relativitatea specială. La doi ani după ce Einstein și-a publicat articolul despre relativitatea specială, Hermann Minkowski, care-i fusese profesor la facultate, a arătat că întreaga poveste cu încetinirea timpului și scurtarea distanțelor ținea de perspectiva diferită a diferiților observatori aflați în mișcare, însă nu era vorba de perspectiva cu care suntem obișnuiți în spațiul 3-D, ci de una în patru dimensiuni. Minkowski a demonstrat că spațiul și timpul nu mai pot fi tratate ca entități

separate, ci sunt unificate în ceea ce se numește *spațiu-timp*. Există o oarecare confuzie, chiar și în rândul oamenilor de știință, legată de necesitatea unei asemenea reprezentări, așa că e important să înțelegem de ce a ajuns Minkowski la această concluzie.

Dacă privești un obiect solid, de pildă un cub, vezi că dimensiunea adâncime (în direcția liniei tale de vizare) apare mai scurtă decât celelalte două dimensiuni lărgime și înălțime, făcând ca laturile cubului să pară turtite. Pentru cineva care privește același cub din lateral, dimensiunea pe care tu o consideri lățimea cubului va fi adâncimea lui, iar el va vedea turtită fața care e orientată spre tine. Nu vă veți pune problema care din voi privește cubul din unghiul *corect*, fiindcă amândoi înțelegeți că e vorba doar de perspective diferite. Relativitatea specială ne spune că observatorii care se deplasează cu viteze mari trebuie să privească lumea în cadrul spațiului-timp 4-D, în care distanțele spațiale și temporale devin doar o chestiune de perspectivă. Un al doilea observator, deplasându-se cu viteză mare față de primul, va vedea spațiul-timp din alt unghi. Conform acestui al doilea observator, dimensiunea timpului poate părea mai scurtă sau mai lungă decât îi apare primului, dar nici unul din ei n-are dreptul să afirme că perspectiva lui asupra spațiului-timp e „mai corectă“ decât a celuilalt.

Să ne gândim la două evenimente separate – de pildă, eu scriind această frază și tu citind-o. Din punctul de vedere pre-einsteinian (newtonian), aceste două evenimente sunt separate în spațiu și timp în mod independent. Distanța spațială dintre locul în care scriu și locul în care citești (să zicem 1 000 km) și distanța temporală dintre momentul în care scriu și cel în care citești (să zicem doi ani) sunt aceleași pentru toți observatorii. Relativitatea specială a arătat că aceste două cantități vor varia în funcție de observator. Avantajul spațiului-timp 4-D este că putem defini în el o unică „distanță“ între cele două evenimente, care e o combinație de parte spațială și parte temporală. Un asemenea „interval“ spațio-temporal are o valoare fixă pentru toți observatorii. Putem așadar avea din nou distanțe obiective absolute când combinăm spațiul și timpul.

Spațiul-timp 4-D al lui Minkowski e numit adesea modelul universului bloc. Odată ce timpul e tratat ca a patra dimensiune a spațiului, ne putem imagina ansamblul spațiu și timp ca pe un bloc cvadridimensional. Pentru a vizualiza asta, vă propun să suprimăm una dintre dimensiunile spațiale (după cum am mai făcut-o), așa încât timpul să fie a treia dimensiune, reprezentată în figura 6.3 prin axa stânga-dreapta a paginii. La orice moment de timp, spațiul bidimensional va fi o secțiune prin

bloc. Universul la momentele anterioare e reprezentat de regiunea din stânga acestei secțiuni, iar momentele din viitor se află în dreapta. Avem aici o perspectivă asupra întregii existențe, în care întregul timp (trecut, prezent și viitor) se află înghețat în fața noastră. Mulți fizicieni, între care și Einstein spre sfârșitul vieții, au împins acest model către concluzia lui logică: în spațiul-timp 4-D totul rămâne nemișcat. Toate evenimentele care s-au întâmplat sau se vor întâmpla vreodată există împreună în universul bloc, și nu-i nici o diferență între trecut și viitor. De aici rezultă că nimic nou nu se poate vreodată întâmpla. Nu numai că viitorul e prestabilit, dar există deja acolo și este la fel de ferm fixat ca trecutul.

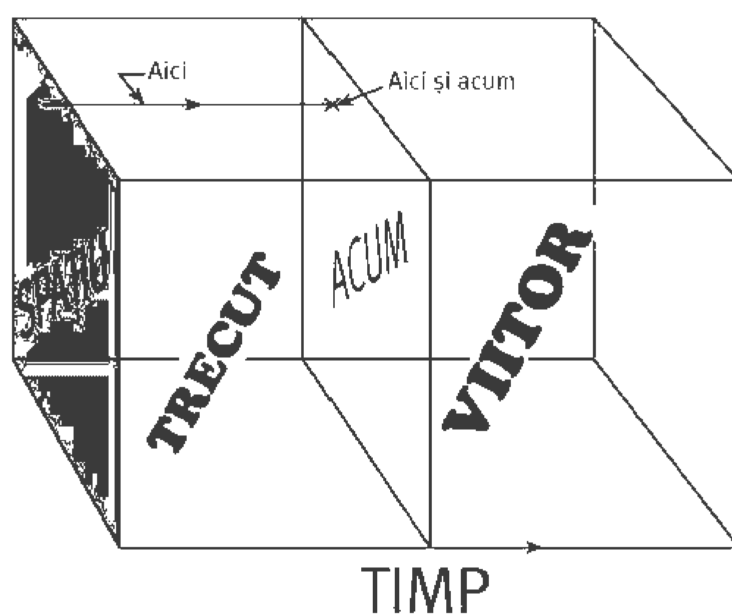


Figura 6.3 Universul bloc. A fost suprimată o dimensiune, iar spațiul e redus la o foaie 2-D. Timpul curge de la stânga la dreapta, perpendicular pe foaie. Dacă rămâi nemișcat, vei trasa o linie orizontală, numită linia ta de univers. Ceea ce te gândești că e „acum“ va fi o secțiune prin bloc care

conține toate punctele din spațiu pe care le consideri simultane. Dar dacă doi observatori trec unul pe lângă altul, nu vor cădea de acord asupra aceleiași foi „acum“.

Este oare această reprezentare cu adevărat necesară? În fond, ne putem la fel de lesne închipui un model de spațiu-timp newtonian ca un bloc 4-D. Diferența e că în acest caz spațiul și timpul sunt independente, în vreme ce în relativitate cele două sunt legate. Una dintre consecințele relativității este că pentru doi observatori niciodată momentul „acum“ nu va fi același.[39] Abandonând timpul absolut, trebuie să acceptăm și ideea că nu există un moment prezent universal. Pentru un observator, toate evenimentele din univers care par să fie simultane pot fi legate împreună pentru a forma o anumită secțiune transversală prin spațiu-timp pe care acel observator o numește „acum“. Alt observator însă, mișcându-se în raport cu primul, va avea o altă secțiune care se va intersecta cu prima. Unele evenimente care se află în secțiunea „acum“ a primului observator se vor afla în trecutul celui de-al doilea observator, iar altele în viitorul său. Acest rezultat derutant poartă numele de relativitatea simultaneității, și este motivul pentru care mulți fizicieni au susținut că, din moment ce nu există

o separare absolută între trecut și viitor, nu avem de-a face cu o curgere a timpului, căci nu putem defini unde ar trebui să se afle prezentul.

Mai mult, dacă un observator vede că un eveniment A se petrece *înaintea* unui eveniment B, s-ar putea ca, pentru alt observator, B să aibă loc *înaintea* lui A.[40] Dacă doi observatori nu pot cădea de acord nici măcar asupra ordinii în care se petrec lucrurile, cum am putea defini o curgere obiectivă a timpului ca pe o succesiune de evenimente?

Nu toți fizicienii sunt dispuși să accepte această idee. Până și Einstein a recunoscut că, deși spațiul și timpul sunt contopite într-un continuum, nu trebuie să cădem în capcana de a trata timpul ca pe o dimensiune suplimentară a spațiului. În fond, știm din capitolul precedent că axa timpului are o anumită direcție – o săgeată a timpului. Nici una dintre cele trei axe spațiale nu are așa ceva. Este la fel de ușor să te deplasezi în oricare direcție a spațiului, așadar natura timpului și cea a spațiului sunt diferite. Când Minkowski și-a prezentat ideile, însuși Eintein a fost sceptic, dar apoi le-a acceptat, ceea ce s-a dovedit a fi esențial în elaborarea ulterioară a relativității generale, în care spațiul-timp 4-D e influențat de gravitație. De fapt, spațiul-timp poate fi curbat, întins, comprimat și răsucit. Vom vedea mai târziu că relativitatea

generală permite spațiului-timp să alcătuiască forme stranii numite de specialiști „topologii netriviale“.

Unde ne duc toate astea? Știm că trebuie să abandonăm ideea de moment prezent universal, dar suntem oare obligați să acceptăm și că viitorul există deja? Voi da în continuare trei motive pentru care cred că nu e cazul.

Mai întâi, dezacordul la care vor ajunge oricare doi observatori privind ordinea evenimentelor va implica doar acele evenimente foarte apropiate în timp. Să ne imaginăm două pulsuri de lumină care, din punctul meu de vedere, sunt separate de 30 de centimetri. Lumina străbate această distanță într-o miliardime de secundă, așa încât, pentru ca un puls să-l fi declanșat pe celălalt, ar trebui să le văd separate în timp cu peste o miliardime de secundă. La un asemenea decalaj în timp, e imposibil pentru oricare alți observatori să vadă pulsurile în ordine inversă, oricât de repede s-ar deplasa ei în raport cu mine. Asta ar încălca legea sacră a naturii conform căreia cauza trebuie întotdeauna să preceadă efectul. Se înțelege de la sine că lucrurile nu se pot întâmpla *înainte* de ceea ce le-a provocat. În exemplul meu nu contează dacă primul puls de lumină l-a declanșat sau nu pe al doilea, pur și simplu există suficient timp pentru ca asta să fie cu putință.

Prin urmare, reordonarea evenimentelor pentru observatori diferiți e permisă – cu condiția să nu încalce ceea ce numim *cauzalitate* (cauza precede efectul) – doar dacă cele două evenimente sunt suficient de apropiate în timp pentru ca nici un semnal, nici măcar lumina, să nu poată circula între ele.[1] Amestecarea ordinii evenimentelor sabotează curgerea obiectivă a timpului doar la scară foarte mică, ceea ce face ca momentul prezent să devină puțin „difuz“, asta-i tot.[41]

În al doilea rând, indiferent de starea mișcării tale relative, există mereu un „acum“ bine definit, deci pentru tine evenimentele sunt clar separate în cele trecute și cele viitoare.

În al treilea rând, cât privește ideea că „viitorul există deja“, e limpede că, până nu se „întâmplă“ pentru noi și nu cunoaștem întregul spațiu-timp, nu putem tăia secțiuni prin el. Pentru noi, viitorul încă n-a avut loc. Nu contează că – având suficiente informații despre starea actuală a universului (cum ar fi pozițiile și stările de mișcare ale tuturor particulelor din univers) – putem calcula ce se va întâmpla în toate momentele din viitor. Acesta nu-i mai mult decât universul determinist (mecanic) al lui Newton, cu deosebirea că distanțele, duratele și ordonarea anumitor evenimente depind de observator.

Pentru a privi întregul spațiu-timp (universul la toate momentele) ca pe un bloc 4-D e nevoie

de o perspectivă din afara universului. E ca și cum te-ai întreba cum arată universul privit din afară. Nu există nici un „afară“.

Aceste argumente nu i-au împiedicat pe unii fizicieni, matematicieni și filozofi să îmbrățișeze cu entuziasm ideea de univers bloc. Iată cum o prezintă matematicianul Hermann Weyl: „Lumea obiectivă pur și simplu *există*, ea nu se *întâmplă*. Numai conștiința noastră […] e un proces care se desfășoară înainte în timp.“ De fapt, acest punct de vedere fusese susținut cu mult înainte de apariția relativității, și e strâns înrudit cu argumentele filozofului german Immanuel Kant din *Critica rațiunii pure*, publicată în 1781.

Am simțit mereu că aici e o contradicție. Weyl ne spune că, deși nimic nu se schimbă vreodată în spațiul-timp 4-D, conștiința noastră se deplasează cumva *prin* el, iar astfel simțim momentul prezent în continuă schimbare. El afirmă că e o senzație iluzorie. Dar chiar dacă e iluzorie, mișcarea implică schimbare, iar schimbarea presupune curgerea timpului. Așadar, dacă conștiința noastră resimte o schimbare, ea trebuie să existe în afara spațiului-timp static. Oricât de misterioasă ar fi conștiința, nu sunt dispus să-i atribui un asemenea statut.

TIMP GRAVITAȚIONAL

După ce am văzut cum e descris timpul în relativitatea specială, voi prezenta pe scurt comportamentul lui în relativitatea generală. Einstein a arătat că gravitația oferă și o altă modalitate de încetinire a timpului, diferită de ceea ce se petrece când călătorești cu viteze foarte mari. Am văzut deja că relativitatea generală descrie felul în care obiectele masive curbează spațiul-timp din vecinătatea lor (observați că pot vorbi în fine despre spațiu-timp, nu doar despre spațiu). Așa cum spațiul e întins în câmpurile gravitaționale, e întins și timpul. Să ne gândim ce se întâmplă cu timpul în apropierea orizontului evenimentelor unei găuri negre. Un observator care privește de la o distanță sigură pe cineva care cade într-o gaură neagră va vedea că ceasul acestuia merge mai încet. De aceea obiectele căzând într-o gaură neagră ne apar ca și cum ar fi înghețate la orizont. Pentru noi, la orizont timpul se oprește. Nu e vorba însă de o simplă iluzie optică. În relativitatea specială, dilatarea timpului e relativă. Doi observatori deplasându-se cu viteză mare unul în raport cu altul vor vedea fiecare că ceasul celuilalt merge mai încet. Dar în cazul celor doi observatori din apropierea găurii negre, cel care cade va vedea că ceasul observatorului aflat la distanță merge mai repede!

Vă înțeleg perfect dacă discuția de mai sus nu v-a convins. La urma urmei, nimeni n-a stat

vreodată în fața unei găuri negre pentru a testa efectul. De unde știm că timpul e într-adevăr încetinit? Răspunsul e că putem face testul aici, pe Pământ. Câmpul gravitațional al Pământului nu-i nici pe departe la fel de intens ca acela al unei găuri negre, și totuși putem măsura efectul său minuscul asupra timpului.

Dilatarea timpului datorată gravitației Pământului a fost confirmată într-un celebru experiment efectuat de doi americani în 1960. Robert Pound și Glen Rebka s-au folosit de recent descoperitul efect Mössbauer: când se pompează energie într-un atom de un anumit tip, acesta va emite lumină cu o lungime de undă specifică; pentru că această lungime de undă e compatibilă cu alți atomi asemănători, ei vor absorbi imediat lumina; dacă lungimea de undă e modificată fie și foarte puțin (de pildă, prin deplasare Doppler), atunci ceilalți atomi nu vor mai putea absorbi lumina. Pound și Rebka au plasat niște atomi de fier „emițători“ la baza unui turn cu înălțimea de 23 de metri, și atomi identici în vârful turnului. Ei au găsit că lumina emisă de atomii de la bază n-a fost absorbită de atomii din vârf, și au arătat că asta se explica prin faptul că lungimea de undă a luminii fusese deplasată spre roșu. Această „deplasare spre roșu gravitațională“ e un rezultat direct al încetinirii timpului la baza turnului. Vârful turnului e mai departe de Pământ, iar acolo

gravitația e mai slabă (desigur, cu foarte puțin, dar suficient pentru a modifica lungimea de undă).

Pentru a înțelege această deplasare spre roșu ca pe o încetinire a timpului, să ne gândim ce înseamnă de fapt lungimea de undă. Putem considera că atomii de fier sunt niște ceasuri – la fiecare creastă a undei luminoase ei emit un „ticăit“. Apoi, dacă vedem lungimi de undă mai mari, asta se va datora faptului că a trecut mai mult timp între ticăiturile succesive, și spunem că ceasul merge mai încet. Pentru a măsura *cu cât* a fost încetinit timpul, Pound și Rebka au avut o idee genială: au făcut ca atomii din vârful turnului să se deplaseze în jos, către cei de la bază, cu o anumită viteză. Atomii în mișcare au văzut acum lungimea de undă a luminii călătorind spre ei ușor comprimată prin deplasarea Doppler. Această scădere a lungimii de undă putea fi reglată controlând viteza atomilor care se mișcau în jos, pentru a aduce lungimea de undă la valoarea ei corectă, așa încât atomii în cădere să poată absorbi lumina.

În anumite situații, cele două efecte de dilatare a timpului (datorate relativității speciale și relativității generale) pot acționa în sens contrar. Să considerăm două ceasuri atomice, unul pe sol, iar celălalt într-un satelit aflat pe orbită. Care din ele va merge mai încet? Din perspectiva ceasului de pe sol, mișcarea rapidă a celui de pe orbită va face ca timpul lui să curgă

mai încet, în vreme ce faptul că acela aflat pe orbită în jurul Pământului, unde gravitația e zero, îl va face să meargă mai repede. Care efect predomină?

Experimentul Hafele-Keating a fost unul dintre cele mai celebre teste ale teoriei relativității. În octombrie 1971, Joseph Hafele și Richard Keating au plasat ceasuri atomice de mare precizie la bordul unui avion, și au zburat în jurul lumii atât spre est, în direcția de rotație a Pământului, cât și spre vest, în direcție opusă, iar apoi au comparat ceasurile de la bord cu cele de pe sol la Observatorul Naval al Statelor Unite.

Apar aici câteva efecte subtile. Mai întâi este efectul gravitației Pământului asupra timpului, care îl încetinește mereu, făcând ca ceasurile de la bordul avioanelor să meargă mai repede, fiindcă se află mai sus (mai departe de centrul Pământului), deci simt o atracție gravitațională ceva mai slabă. La zborul spre est, efectul relativist datorat vitezei ceasurilor le încetinește în raport cu Pământul, ceea ce acționează împotriva accelerării timpului datorată gravitației mai slabe; pe de altă parte, la zborul spre vest, efectul relativist datorat vitezei face ca ceasurile să meargă mai repede, efect care se adaugă celui gravitațional.[42] Hafele și Keating au măsurat o încetinire totală de 40 de miliardimi de secundă la ceasurile care au zburat spre est, dar o accelerare de 275 de

miliardimi de secundă la cele care au zburat spre vest, rezultat care a reprodus predicția totală a relativității cu o eroare de câteva procente. Experimente ulterioare, cu măsurători mai precise, au reprodus și mai bine predicția teoriei.

Un asemenea efect straniu ar putea părea neglijabil, dar e folosit în mod curent pentru a corecta ritmul curgerii timpului la bordul sateliților GPS (*Global Positioning System* – Sistemul de Poziționare Global). Erorile GPS au diverse cauze, de la cele atmosferice la întârzieri provocate de reflectarea semnalului pe un teren neregulat, dar și efectele relativității sunt importante. Desigur, sateliții se rotesc în jurul Pământului la o altitudine mult mai mare decât cea la care zboară avioanele, ceea ce înseamnă că ceasurile lor merg întotdeauna mai repede decât cele de pe sol. Acest efect gravitațional depășește celălalt efect asupra timpului, datorat vitezei sateliților în raport cu solul. Fără corecție, ceasurile de la bordul sateliților GPS ar câștiga aproximativ 40 de milionimi de secundă pe zi, ceea ce înseamnă o secundă în cursul unei vieți omenești medii. Pentru a compensa această accelerare, ceasurile din sateliți sunt deliberat încetinite. Fără această corecție, GPS-ul n-ar putea localiza sistemul de navigație al mașinii tale sau telefonul tău mobil cu o precizie care să-l facă util. La aplicațiile de pe telefonul meu mobil cel mai mult mă

impresionează faptul că folosesc tehnologia ca să măsoare însăși curbura spațiului-timp. Pentru telefonul meu, spațiul-timp e mai puternic curbat decât pentru satelitul care îi localizează poziția și îi trimite această informație fără de care nu m-aș putea descurca într-un oraș necunoscut.

Ține minte: dacă ceasul tău merge încet, ridică-l deasupra capului! Va merge mai repede, odată ce simte un câmp gravitațional mai slab. Evident, nu vei putea măsura un asemenea efect minuscul, oricât ai ține brațul ridicat. Dacă ceasul tău merge într-adevăr mai încet… cumpără-ți unul nou.

---

36. Traducere de Antoaneta Ralian, Editura Humanitas, București, 2016. (*N. t.*)

37. Viteza unei unde se obține înmulțind frecvența cu lungimea ei de undă. Dacă o cantitate crește, în timp ce cealaltă scade, ele se pot echilibra pentru a da același rezultat. (*N. a.*)

38. Timpul este distanța străbătută de pulsul de lumină împărțită la viteza lui. Nu cred că mai e nevoie să amintesc că asta rezultă din relația „viteza egal distanța împărțită la timp“. Așadar, cu cât străbate o distanță mai mare, cu atât îi ia mai mult timp. (*N. a.*)

39. O analiză subtilă și detaliată a acestor probleme se găsește în cartea lui Richard Muller *Acum. Fizica timpului* (Editura Humanitas, București, 2020). (*N. t.*)

40. Asta se poate întâmpla doar dacă intervalul de timp dintre cele două evenimente (în ambele sisteme de referință) ar fi mai scurt decât timpul în care lumina ajunge de la un eveniment la celălalt. În felul acesta e anulată posibilitatea ca un eveniment să fie cauza celuilalt, fiindcă atunci un observator ar vedea că efectul apare înaintea cauzei, ceea ce e interzis de legile fizicii. (*N. a.*)

41. Desigur, intervalul de timp dintre evenimente poate fi de un an, cu condiția ca distanța dintre ele să fie de peste un an-lumină (fiindcă lumina, cel mai rapid mijloc de transmitere a semnalelor, va străbate această distanță în mai mult de un an). (*N. a.*)

42. Experimentul trebuie judecat dintr-un sistem de referință în repaus față de centrul Pământului. În raport cu el, avionul deplasându-se spre est (în atmosfera care se află și ea în rotație împreună cu Pământul) are o viteză mai mare decât un punct fix oarecare de pe suprafața Pământului; dimpotrivă, avionul deplasându-se spre vest are o viteză mai mică decât un punct fix oarecare de pe suprafața Pământului. (*N. t.*)

7
Paradoxurile călătoriei în timp

Am văzut că, în relativitate, un interval de timp depinde de perspectiva ta. Se scurge mai puțin timp pentru cineva care accelerează până la viteze foarte mari sau petrece o vreme într-un câmp gravitațional intens. În felul acesta, putem călători în viitor, dar asta nu înseamnă că păcălim timpul. Nu facem decât să ajungem mai repede în viitor. Am arătat că acest gen de călătorie în timp e firesc pentru particulele subatomice, fiindcă sunt singurele obiecte a căror viteză se poate apropia de viteza luminii. Astfel, miuonii produși de razele cosmice călătoresc în viitor (cu o mică fracțiune de secundă) în călătoria lor scurtată prin atmosfera terestră.

Problema cu acest gen de călătorie în timp este că e în sens unic. S-ar putea ca într-o bună zi să călătorim în viitor, chiar în viitorul îndepărtat, dar singura modalitate de a ne întoarce în timpul nostru ar fi să călătorim *înapoi* în trecut. Asta e mult mai problematic. Când oamenii de știință vorbesc despre călătoria în timp, ei se referă de regulă la călătoria în

trecut. De fiecare dată când voi menționa în capitolul de față călătoria în timp, voi avea în vedere călătoria în trecut.

Există două moduri de a te întoarce în trecut. Unul este de a te întoarce prin timp, așa încât acele ceasului tău să se rotească în sens invers. Asta presupune viteze mai mari decât viteza luminii, ceea ce e imposibil, și nu despre acest gen de călătorie în timp vreau să vorbesc aici. Celălalt mod este de a călători simțind că înaintezi în timp (timpul tău local curge înainte), dar deplasându-te de-a lungul unui drum deformat prin spațiu-timp, care te duce înapoi în trecutul tău (ca și cum ai parcurge o buclă într-un montagne russe). O asemenea buclă se numește *curbă temporală închisă*, și a fost subiectul unor cercetări teoretice intense în anii 1990. Ceea ce ar putea părea surprinzător este că se știe de mult că ecuațiile relativității generale permit existența curbelor temporale închise. Matematicianul american de origine austriacă Kurt Gödel a demonstrat în 1949 că o asemenea călătorie în trecut e teoretic posibilă.

Așadar, călătoria în viitor e un lucru simplu, iar călătoria în trecut, deși dificilă, nu e deocamdată exclusă de teorie. Ce mai așteptăm? De ce n-am construit încă o mașină a timpului? Motivul este nu doar că e extrem de greu să creezi o curbă temporală închisă în spațiul-timp, dar nu suntem nici măcar siguri dacă teoretic e posibil. Relativitatea generală ne spune că nu

putem exclude călătoria în timp, însă mulți fizicieni speră că o înțelegere mai bună a matematicii implicate în relativitatea generală va duce în cele din urmă la concluzia că e total interzisă (cel puțin în universul nostru). Iar motivul acestei dorințe este că posibilitatea călătoriei în timp face să apară câteva paradoxuri stranii. În capitotul de față vom analiza unele paradoxuri ale călătoriei în timp și vom vedea dacă există vreun mijloc de a le evita.

Ca om de știință, mi-e greu să mă uit pur și simplu fără să reacționez la un film SF despre călătoria în timp. În loc să-l iau ca atare și să savurez scenariul (de regulă) stupid, am tendința să-i caut defectele de logică. Voi spune ceva de genul: ia stați o clipă, dacă el chiar s-a întors în timp și a făcut cutare și cutare lucru, atunci el s-a amestecat în istorie și… ei bine, probabil că vă dați seama ce vreau să spun. E tare trist.

Cum ziceam, filmele astea sunt cam stupide. Ar trebui să mă las dus de val și să prețuiesc milioanele de dolari cheltuite pe efecte speciale. Dacă ați văzut *Star Trek IV: The Voyage Home*, știți la ce mă refer. În filmul ăsta, cel mai bun din seria inițială *Star Trek*, căpitanul Kirk și echipajul său călătoresc înapoi în timp în secolul XX. Are câteva momente amuzante, cum e cel în care Scotty încearcă să vorbească

cu un computer, i se spune că trebuie să folosească mouse-ul, așa că ia mouse-ul și vorbește în el! E scena mea preferată.

PARADOXUL TERMINATOR

Vreau să folosesc o variantă a scenariului unui film pentru a ilustra un paradox al călătoriei în timp. Acest film este *Terminator*, în care Arnold Schwarzenegger e un android indestructibil trimis înapoi în timp de roboții care conduc lumea într-un viitor violent. John Connor este conducătorul rebelilor care luptă pentru cauza oamenilor împotriva roboților, iar Arnie ar trebui s-o ucidă pe mama lui John înainte ca ea să-l nască. Dacă John nu s-ar fi născut, atunci rebelii ar fi ușor de înfrânt. Lichidând-o pe mama lui, roboții ar scăpa și de el.

Evident, nu numai că Arnie n-o face, dar se îndrăgostește de ea, o lasă însărcinată, iar ea îl naște pe… John Connor. Acest tip, care are aceeași vârstă ca John în timpul lui (viitor), e de fapt tatăl lui. A fost trimis să se asigure că John nu se naște, și sfârșește prin a fi *cauza* existenței acestuia.

Întrebarea este dacă ar fi fost posibil ca Arnie să modifice cursul evenimentelor așa încât viitorul să se desfășoare altfel. Ce s-ar fi întâmplat dacă ar fi ucis-o pe mama lui John? Deși povestea pare cam stupidă dacă nu ești fan SF, ea e coerentă. Nu apare nici un paradox,

pentru că Arnie n-o ucide pa mama lui John. Mă rog, filmul nu-i chiar așa de prost, iar efectele speciale sunt fabuloase. (Ele sunt și mai bune în *Terminator II*.)

Vreau să rescriu aici povestea filmului, pentru a sublinia cel mai celebru paradox al călătoriei în timp, numit *paradoxul bunicului*. Exprimat în forma lui inițială, paradoxul apare când te întorci în timp și îți ucizi bunicul înainte s-o întâlnească pe bunica ta. Prin urmare, mama ta nu s-a născut, deci nici tu nu te-ai născut. Iar dacă nu te-ai născut, bunicul tău *nu putea* fi ucis de tine, și atunci tu *te-ai fi* născut, așa încât el *să fie* ucis etc. Acesta e paradoxul. Raționamentul se tot învârte într-un cerc autocontradictoriu.

Să rescriem deci scenariul lui *Terminator*. Să presupunem că roboții din viitor nu apelează la musculosul android, ci îl capturează pe John și îl conving – prin mijloace oricât de cumplite – să se întoarcă în timp și să-și ucidă el însuși mama.

Ce se întâmplă dacă reușește? Dacă ea e ucisă înainte să-l nască pe John, el n-a existat niciodată. Dispare el în momentul în care mama lui se prăbușește? Iar dacă el n-a existat niciodată, cine a ucis-o pe mama lui? Nu putea să fi fost John: el nu s-a născut niciodată!

Există mai multe soluții, care apar în literatura SF sub o formă sau alta. Voi considera trei scenarii:

1. *Când își împușcă mama, John dispare*. Nu ține. Mama lui (indiferent ce se întâmplă cu John) va avea înfipt în inimă un glonț care trebuie să fi fost tras de un pistol. Cineva a apăsat pe trăgaci. Nu poți spune că John a existat înainte s-o împuște, fiindcă, acum că a modificat istoria, nu s-a născut niciodată. Viitorul va fi evoluat altfel (fără John) și nu va fi fost nevoie ca roboții să trimită pe cineva – mai ales pe cineva care nu există – înapoi în timp pentru a o ucide pe mamă. Această explicație presupune că există două versiuni ale istoriei: una în care John s-a născut și una în care nu s-a născut, care nu pot fi corecte.

2. *John nu-și poate ucide mama, pentru că se află acolo încercând s-o facă*. Cu alte cuvinte, faptul că el există înseamnă că trebuie să *eșueze* orice încercare ar face. Aceasta e fără îndoială o soluție mai bună decât prima, fiindcă ne asigură că nu există decât o singură versiune a istoriei. Totuși, după cum vom vedea, și ea conduce la o dificultate.

3. *Când John se întoarce în timp, el alunecă într-un univers paralel în care îi este permis să schimbe cursul istoriei*. Astfel, deși nu-și poate schimba propriul trecut, poate schimba trecutul într-un univers vecin. Când își omoară deci mama, el nu se va fi născut niciodată în *acel* univers, dar mama lui va continua să trăiască în universul său. Acest tip de explicație a fost până recent îmbrățișat doar de autorii SF, însă acum e

luat în serios de anumiți fizicieni care, din diverse motive, ar vrea ca universurile paralele să existe. Mă voi întoarce la asta și voi arăta că e singura soluție viabilă.

Cea mai simplă și, după cum ar spune mulți, cea mai rezonabilă dintre soluțiile de mai sus este a doua. Să presupunem că nu există universuri paralele (din moment ce nu există nici o dovadă și, în absența unei mașini a timpului, nu putem verifica). Apoi, există o singură versiune a istoriei. Nu ne putem întoarce și schimba cursul ei, fiindcă deja ne *amintim* evenimentele din trecutul nostru. Așadar, un călător în timp nu se poate întoarce pentru a împiedica asasinarea lui John F. Kennedy, dar poate fi el însuși criminalul.

Acest mod de a explica felul în care ne putem întoarce și participa la propriul nostru trecut e minunat exploatat în filmele *Back to the Future*. Acolo, anumite evenimente nu sunt explicate la momentul în care au loc. Abia mai târziu aflăm că ele au fost provocate de personaje călătorind înapoi în timp din viitor. Vedem deci unele scene de două ori: întâi din punctul de vedere al personajelor care trăiesc în timpul lor, apoi din punctul de vedere al călătorilor în timp (versiuni mai bătrâne ale acelorași personaje).

Să ne întoarcem la *Terminator* în varianta noastră. John ar putea încerca să-și împuște mama, dar e evident că trebuie să se întâmple ceva pentru a-l împiedica, din diferite motive.

Poate că în ultimul moment își vine în fire. Poate că pistolul n-a fost încărcat sau trăgaciul se înțepenește. Poate că glonțul nu-și atinge ținta. Nu contează de ce dă greș John, pur și simplu el trebuie să dea greș. Mama lui trebuie să supraviețuiască pentru ca el să se poată afla acolo. Voi numi asta paradoxul „nu-i de ales“ – călătorii în timp nu au libertatea de a face anumite lucruri care vor schimba cursul istoriei, așa încât să devină imposibil pentru ei să fi călătorit înapoi în timp.

Dacă te gândești puțin, îți dai seama că apare o problemă. Înseamnă oare că, dacă John ar încerca din nou și din nou, ar fi condamnat să dea greș? Ne putem imagina că roboții îl aduc pe John în timpul lor, îi administrează o doză dublă de ser „ucide-ți mama“, îl antrenează intens la tir și îl trimit înapoi în trecut cu o carabină bine unsă, cu certitudine încărcată, simplu de mânuit. Iar el tot va da greș. Legile fizicii nu sunt aduse în discuție pentru a explica de ce John va eșua mereu, nu contează decât că paradoxurile sunt evitate.

Fizicienii teoreticieni au născocit un experiment mintal pentru a vedea ce s-ar întâmpla într-o situație reală dacă ceva ar călători în timp și s-ar întâlni cu sine. Ce ar prezice matematica? Pentru ca modelul să fie suficient de simplu, ei s-au gândit la o mașină a timpului sub forma unei mese de biliard. Ideea este că o bilă intră într-un buzunar al mesei, iar

apoi apare dintr-un buzunar alăturat în trecut, așa încât se poate ciocni cu ea însăși înainte de a se duce în primul buzunar. În acest model, toate paradoxurile pot fi evitate cu ușurință dacă permitem doar acele situații care nu conduc la un paradox, situații numite *soluții consistente*. O bilă poate deci să se întoarcă în timp, să apară din alt buzunar și să se ciocnească cu versiunea ei anterioară trimițând-o în gaură și permițându-i astfel să călătorească înapoi în timp. Dar situația în care bila apare din buzunar și se ciocnește cu versiunea ei anterioară astfel încât s-o facă să rateze buzunarul în care s-ar fi rostogolit nu e permisă matematic, deoarece conduce la un paradox. Asta înseamnă că susținătorii călătoriei în timp trebuie să demonstreze matematic că paradoxurile *pot* fi evitate dacă suntem atenți. Problema despre care ei pretind că nu există este faptul că bilele de biliard nu au liber-arbitru. Bilele de biliard nu se confruntă cu paradoxul „nu-i de ales“.

Regula este deci că trecutul s-a petrecut, iar nouă ne e permisă doar o versiune a lui. Când călătorim înapoi în timp putem face ce vrem atâta vreme cât ținem minte că, oricât de mult ne-am amesteca în istorie, vom face întotdeauna ca ea să se desfășoare așa cum s-a desfășurat. Chiar și în scenariul originar al filmului, Arnie n-o poate ucide pe mama lui John, fiindcă el

vine dintr-un viitor în care John există, deci nici n-are rost să încerce s-o facă. Atunci însă, filmul n-ar mai fi așa palpitant.

ÎNCERCÂND SĂ SALVEZI DINOZAURII

Am spus că ne putem totuși „amesteca“ în trecut, mai țineți minte? Ei bine, am să reformulez: e permis să ne întoarcem în trecut și să facem așa încât lucrurile să se desfășoare cum s-au desfășurat *datorită* amestecului nostru. Voi ilustra asta cu un alt exemplu.

Majoritatea oamenilor de știință sunt acum de acord că un meteorit uriaș a lovit Pământul cu 60 de milioane de ani în urmă, iar materia degajată în atmosferă în urma impactului a provocat o schimbare climatică violentă care a dus la dispariția dinozaurilor. Unele mamifere au reușit să supraviețuiască, iar dintre ele unele au evoluat devenind maimuțe, apoi, milioane de ani mai târziu, oameni. De fapt, putem spune probabil că, dacă dinozaurii n-ar fi fost nimiciți, mamiferele, deci și oamenii, n-ar fi putut evolua. Altfel spus, existăm grație acelui meteorit.

Să presupunem că un paleontolog face rost de o mașină a timpului și de o rachetă termonucleară (puțin probabil, recunosc, dar haideți să presupunem). El călătorește în trecut în urmă cu 65 de milioane de ani cu scopul de a distruge meteoritul înainte ca acesta să lovească

Pământul. Dar dacă el salvează dinozaurii de extincție, atunci ar dispărea nu numai el, ci întreaga omenire. Este o formă extremă a paradoxului bunicului.

E momentul să lămuresc un lucru: dacă vom ajunge vreodată să construim o mașină a timpului, atunci legile fizicii nu ne permit să călătorim înapoi în timp înainte ca mașina să fi fost construită. Asta deoarece construirea unei mașini a timpului implică legarea laolaltă a diferiților timpi în cadrul spațiului-timp. Așadar, momentul cel mai îndepărtat în timp care e astfel conectat va fi momentul creării mașinii. Toate momentele de timp dinaintea lui ar fi pierdute pe vecie, n-ar mai fi „disponibile". În felul acesta e exclusă orice posibilitate de a ne întoarce vreodată la timpuri preistorice – dacă nu cumva am găsi undeva în spațiu o mașină cosmică a timpului care există de multă vreme.

Să presupunem totuși că paleontologul dement reușește să se întoarcă în timp până cu câteva ore înainte de ciocnirea cu meteoritul și orientează racheta spre el. Privește în sus și vede cu uimire că meteoritul e mult mai mare decât se aștepta. De fapt, dacă se va ciocni cu Pământul, așa cum pare iminent să se întâmple, va distruge întreaga viață, nu doar pe dinozauri.

„Ei bine", își spune paleontologul, „măcar să fac ce pot." Lansează racheta și nimerește în plin. Meteoritul e distrus.

Dar… un mic fragment supraviețuiește și se îndreaptă spre Pământ. Nemaiavând la dispoziție alte rachete, nu-i rămâne decât să privească mingea de foc care străbate atmosfera, izbește Pământul și – ați ghicit! – provoacă extincția dinozaurilor.

Prin urmare, nu numai că n-a putut schimba istoria, dar de fapt i-a determinat cursul. Dacă nu s-ar fi întors în timp să distrugă meteoritul, n-ar fi existat niciodată. Am răsturnat raționamentul, iar paradoxul pare să fi dispărut. Spre deosebire de povestea precedentă, în care John trebuie să dea mereu greș oricât s-ar strădui să-și împuște mama, acum paleontologul nu poate rata, fiindcă altminteri nu va fi existat niciodată. Nu se poate hotărî în ultima clipă să nu lanseze racheta, și nici n-o poate abate ceva de la cursul ei. În acest caz, e ușor de respins orice urmă a paradoxului „nu-i de ales“ afirmând că, spre deosebire de exemplul precedent în care cerem ca ceva să-l facă pe John să dea greș, aici călătorul în timp nu-și dă seama de amploarea sarcinii lui și de faptul că nu are de ales.

SORA MONA LISEI

Suntem la Florența în 1504, iar Leonardo da Vinci tocmai a terminat capodopera sa *Mona Lisa*. Hotărăște să renunțe pentru un timp la pictură și, fiind un geniu polivalent, să de

dedice unei alte mari pasiuni, invențiile. După săptămâni de cugetare și nenumărate nopți în care face schițe detaliate, își încheie în cele din urmă planurile pentru cea mai isteață invenție a sa: o mașină a timpului. După alte săptămâni petrecute în atelierul lui, într-o seară, termină construcția ei și se duce la culcare încercând să-și închipuie cum ar putea s-o testeze.

Spre uimirea lui, a doua zi de dimineață găsește în mașina timpului un tablou. E portretul unei femei care seamănă mult cu Mona Lisa lui: aceleași trăsături, același păr negru lung, dar fără zâmbetul enigmatic. Leonardo o recunoaște imediat – este Mona Lot, sora mai urâtă a Mona Lisei, care îl bătuse la cap s-o picteze și pe care o tot evitase. Tabloul este, evident, opera lui (are chiar și semnătura lui) și, cum știe că nu l-a pictat, deduce că trebuie să fi fost trimis înapoi în timp de un Leonardo din viitor. E tulburat. Se hotărăște să nu spună nimănui, dar să păstreze tabloul împachetat până găsește o soluție.

Cu trecerea zilelor, Leonardo e tot mai îngrijorat de posibilele paradoxuri ale călătoriei în timp. Știe că trebuie să trimită tabloul înapoi, fiindcă din viitor l-a primit. Pe de altă parte, dacă și când o face, îl pierde pentru totdeauna. Tabloul va rămâne blocat într-o buclă a timpului.

Există aici două paradoxuri. Primul este un paradox „nu-i de ales“, fiindcă Leonardo știe că

la un moment dat trebuie s-o trimită pe *Mona Lot* înapoi în mașina timpului. Poate că tabloul a fost însoțit de o notă în care se precizau timpul și data la care a fost trimis. Pe măsură ce se apropie de acea zi, știe că, indiferent ce ar face pentru a evita să trimită tabloul înapoi, nu va reuși să nu-l trimită. Și dacă ar încerca să păcălească timpul distrugând tabloul? E o formă acută a paradoxului „nu-i de ales“. Acceptăm că nu putem modifica trecutul, obișnuim să spunem „n-are rost să plângi după laptele vărsat“ sau „ce-i făcut e bun făcut“. Aici însă viitorul e legat direct de trecutul fixat, iar astfel e și el fixat. Așadar, ce îl va împiedica pe Leonardo să distrugă *Mona Lot*? Ce forță necunoscută va face ca tabloul să nu fie ars, sfâșiat sau aruncat în fluviul Arno?

Există aici și un al doilea tip de paradox, încă mai tulburător decât paradoxul „nu-i de ales“, și pe care îl voi numi paradoxul „ceva din nimic“. El apare când Leonardo trimite tabloul înapoi la momentul potrivit, iar pe urmă distruge mașina timpului, ca să nu-i mai dea bătăi de cap. Rămânem cu un mister: *Cine a pictat Mona Lot*? Leonardo ar putea simți acum că a depășit criza și că, oricâte obstacole stranii ar fi avut de înfruntat în posibilele lui încercări de a încălca un paradox, din fericire întregul episod se află acum în trecutul lui. Dar nu putem ignora faptul că, pentru o vreme, a existat o capodoperă a lui Leonardo da Vinci pe care *Leonardo da Vinci*

n-a pictat-o în realitate niciodată! El a găsit-o în mașina timpului, a păstrat-o o vreme, pe urmă a pus-o la loc în mașina timpului și și-a trimis-o înapoi lui însuși. Dar de unde a apărut ea? De nicăieri. A fost prinsă într-o buclă a timpului, iar Leonardo n-a pictat-o niciodată! Oricât ne-am strădui să asigurăm consistența logică, paradoxul „ceva din nimic“ nu poate fi rezolvat.

NU EXISTĂ OARE NICI O SOLUȚIE?

Vedeți acum de ce atât de mulți fizicieni cred că niciodată nu va fi posibilă călătoria în timp. Mai există însă și un alt paradox, pe care nu l-am menționat, legat de folosirea unei mașini a timpului pentru a crea mai multe cópii ale tale, încălcând astfel legi sacre ale naturii cum sunt conservarea masei și energiei. De pildă, ai putea să călătorești cu cinci minute înapoi în timp și să te întâlnești cu tine însuți. Ați putea atunci intra amândoi în mașina timpului pentru a vă întoarce cu cinci minute mai devreme și a vă întâlni cu un al treilea tu însuți, și așa mai departe? Aceasta e o altă formă a paradoxului „nu-i de ales“. Cum există doar o singură versiune a trecutului, iar înainte să pleci în prima călătorie în timp tu știi că nici o copie a ta n-a sosit cu cinci minute în urmă din viitor, nu poți fi liber să te întâlnești cu tine însuți. Nu te

poți întoarce în trecut să te întâlnești cu tine însuți pentru că n-ai nici o amintire a întâlnirii cu tine însuți.

S-ar părea că am bătut destule cuie în sicriul călătoriei în timp, și vă întrebați pesemne dacă are rost să continuați să citiți restul cărții în care explic cum ar putea fi construită o mașină a timpului. Păstrați-vă totuși speranța. E limpede că trebuie să existe anumite reguli de bază privind momentele de timp în care ni se permite să ne ducem și ce ni se permite să facem pentru ca acele paradoxuri să nu apară. Mulți dintre partizanii înfocați ai călătoriei în timp nu sunt prea îngrijorați de paradoxul „nu-i de ales“. Ei sunt de acord că trebuie să sacrificăm liberul-arbitru dacă e posibilă călătoria în trecut. Oricum, ei cred că liberul-arbitru există doar în închipuirea noastră. Din moment ce trăim într-un univers determinist în care totul e predeterminat, nu avem nevoie să apelăm la nimic nou. Câtă vreme totul e logic coerent, nu-i nici o problemă. Te poți întoarce deci cu o oră în urmă pentru a te întâlni cu tine însuți (puțin) mai tânăr *dacă* ții minte că te-ai întâlnit cu tine însuți (puțin) mai bătrân cu o oră în urmă. Dacă nu ții minte, atunci nu vei putea călători înapoi în timp. Nici măcar paradoxul „ceva din nimic“ nu-i descurajează pe partizanii înfocați ai călătoriei în timp. „Și ce-i cu asta?“ spun ei.

„Faptul că tabloul *Mona Lot* e prins într-o buclă a timpului nu conduce la nici o incoerență logică.“

Pentru mine însă e o abandonare mult mai gravă a liberului-arbitru. Într-un univers determinist avem cel puțin iluzia că alegerile și hotărârile noastre sunt libere, dar călătoria în timp ne interzice luxul acestei senzații. Liberul-arbitru ne este smuls într-un mod care e departe de a fi clar.

Dacă ești hotărât să accepți posibilitatea călătoriei în trecut, atunci mai e un preț pe care trebuie să-l plătești. Trebuie să iei în serios descrierea spațiului-timp ca univers bloc. Trecutul, prezentul și viitorul trebuie că coexiste. Motivul e simplu: dacă te întorci în trecut (a cărui existență suntem nevoiți s-o acceptăm, fiindcă ne amintim de el), atunci pentru oamenii cu care te întâlnești când călătorești înapoi în timp (chiar și pentru o versiune mai tânără a ta) acel timp este „acum“ al lor, momentul lor prezent. Ai venit din viitorul lor. Iar ei trebuie să accepte că viitorul e la fel de real ca prezentul. Nu putem spune nici măcar că prezentul nostru este adevăratul „acum“ și că ei doar își închipuie că trăiesc în prezent, fiindcă ne putem imagina la fel de bine călători în timp din viitorul nostru vizitându-ne în prezentul nostru. Dacă aceștia ne vizitează, atunci viitorul nostru, și de fapt toate

momentele de timp, trebuie să existe laolaltă. Asta e exact ce ne spune modelul universului bloc.

UNIVERSURI PARALELE

Dacă nu sunteți dispuși să ignorați paradoxurile călătoriei în timp, există o posibilitate în care nu apar niciodată paradoxurile „nu-i de ales“ și „ceva din nimic“. Prețul de plătit vi se poate părea prea mare, deși vă scapă de unele absurdități despre care ați citit în această carte. Veți găsi că ceea ce urmează e mai nebunesc decât tot ce ați întâlnit până acum, și totuși se bazează pe o interpretare absolut respectabilă, deși neconvențională, a rezultatelor stranii din mecanica cuantică.

Am pomenit în treacăt la începutul capitolului 5, când am vorbit despre natura luminii, că influența mecanicii cuantice, ca teorie științifică, asupra vieții noastre de zi cu zi o depășește chiar și pe cea a relativității. Problema este că nimeni nu înțelege cu adevărat ce ne spune ea despre lumea la scară foarte mică, pe care o descrie atât de precis. Sună ciudat. Cum se poate ca o teorie pe care n-o înțelegem să aibă asemenea succes? Răspunsul este că ea prezice comportamentul constituenților elementari ai materiei – nu doar atomi, dar și particulele din care sunt alcătuiți atomii (electroni, protoni, neutroni), precum și

fotoni și toate celelalte particule subatomice – cu o precizie incredibilă. Mecanica cuantică ne-a condus la înțelegerea felului în care aceste particule „cuantice“ interacționează și se leagă între ele pentru a forma lumea din jurul nostru. În același timp însă, mecanica cuantică ne impune o perspectivă asupra lumii subatomice care ne contrazice flagrant bunul-simț. Fizicienii au avut la dispoziție un secol pentru a se obișnui cu asta și a propune mai multe interpretări privind ceea ce se petrece la nivel cuantic, dar nu s-a ajuns încă la un consens asupra interpretării corecte, admițând că într-adevăr există una corectă.

Interpretarea dominantă în cea mai mare parte a secolului XX se numește interpretarea Copenhaga (fiindcă a apărut la institutul din Copenhaga, unde lucra Niels Bohr, unul dintre creatorii mecanicii cuantice). Partizanii ei adoptă o perspectivă pragmatică: ei afirmă că nu trebuie să ne batem capul încercând să înțelegem ce se întâmplă la scara atomilor, care e atât de îndepărtată de lumea cu care suntem obișnuiți. De pildă, n-avem dreptul să ne așteptăm ca un foton să se comporte așa cum ni se pare nouă logic. Dacă la un moment dat lumina pare să aibă proprietățile unui flux de particule, iar apoi proprietățile undei, asta e situația. Tot ce contează, spun copenhageniștii, este ca mecanica cuantică să funcționeze.

Calculele matematice sunt în perfect acord cu ceea ce vedem în lumea din jurul nostru, deci n-are rost să ne facem probleme.

Până cu câteva decenii în urmă, așa vedeau lucrurile cei mai mulți fizicieni. Ei erau mulțumiți (mă rog, poate nu-i chiar cuvântul potrivit) să folosească uneltele mecanicii cuantice – simboluri abstracte și tehnici matematice, nu piulițe și șurubelnițe, înțelegeți ce vreau să spun. Erau pregătiți să lase în seama filozofilor cugetările privind semnificația profundă a teoriei.

Diferențele dintre interpretări se leagă de felul în care descriem ceea ce se „întâmplă" cu o particulă cuantică, de pildă un electron, când e lăsată să facă orice le place particulelor să facă atunci când sunt lăsate singure. Dacă măsurăm o anumită proprietate a unui electron, cum ar fi poziția, viteza sau energia la un moment dat, atunci mecanica cuantică ne va spune ce e probabil să găsim. Ea nu ne spune însă nimic despre ce face electronul când nu e observat. Asta n-ar fi o problemă dacă am putea avea încredere că electronii (și toate celelalte particule cuantice) se comportă rezonabil – numai că nu-i cazul. Ei vor dispărea din locul unde au fost văzuți ultima dată, și vor reapărea spontan în alt loc care ar trebui să le fie inaccesibil. Ei există în două locuri simultan, străpung bariere impenetrabile, călătoresc în același timp în două direcții, ba chiar au

simultan proprietăți contradictorii. Dar în clipa în care te uiți la ce se întâmplă, electronul va începe brusc să se comporte din nou normal, și nimic nu va părea ieșit din comun. Concluzia inevitabilă pe care o tragem din rezultatele observațiilor noastre este că electronul a făcut într-adevăr lucruri foarte stranii când nu ne-am uitat la el. De fapt, toate particulele cuantice se comportă în moduri care ar fi imposibile dacă ele s-ar supune acelorași reguli ca obiectele cu care suntem obișnuiți din viața de zi cu zi.

Din moment ce mecanica cuantică ne spune doar la ce rezultate ale observațiilor noastre să ne așteptăm, trebuie să apelăm la altceva pentru a încerca să înțelegem ce se întâmplă când nu facem observații. Asta am vrut să spun prin „interpretări diferite". Până acum am menționat numai interpretarea Copenhaga, pe care mulți au considerat-o interpretarea standard. Ea este cea care apare în aproape toate manualele de mecanică cuantică, și e predată tuturor studenților la Fizică, dar s-ar părea că a sosit momentul unei schimbări. Partizanii ei ar putea spune că alegerea unei interpretări e pur și simplu o chestiune de gust filozofic, însă adevărul e că tot mai mulți fizicieni (nu majoritatea, totuși, deocamdată) caută ceva mai profund.

O explicație diferită de cea dată la Copenhaga este *interpretarea lumilor multiple* [*many-worlds interpretation*], care prezintă un

interes deosebit pentru fanii călătoriei în timp. Conform acestei perspective, de îndată ce o particulă cuantică, oriunde în univers, se confruntă cu alegerea între două sau mai multe variante, întregul univers se separă într-un număr de universuri paralele egal cu numărul variantelor disponibile pentru particulă. Există deci un număr infinit de universuri care se deosebesc de al nostru în mai mare sau mai mică măsură, în funcție de timpul scurs de la separarea de universul nostru, iar fiecare univers e la fel de real ca al nostru. În multe dintre ele există cópii identice ale tale. În unele ești milionar, în altele ești om al străzii. În multe altele te-ai descurcat cam la fel ca în universul nostru, cu excepția unor detalii minore. Vreme îndelungată asemenea lucruri păreau că țin de SF, și nu sunt puțini fizicienii care cred că așa vor rămâne. Nu avem vreo dovadă experimentală că universurile paralele există, din moment ce nu putem lua legătura cu nici unul, dar această teorie are unele avantaje și explică mult din comportamentul straniu al lumii cuantice. Care e însă prețul de plătit? Fizicianul Paul Davies a observat că interpretarea mai multor lumi este ieftină în presupuneri (un avantaj), dar scumpă când e vorba de numărul universurilor.

Dacă vă întâlniți cu această idee pentru prima dată, vi se pare pesemne imposibil să existe suficient spațiu pentru atâtea universuri. S-ar

putea chiar ca propriul nostru univers să fie infinit. Unde s-ar afla toate celelalte? Să ne închipuim universul nostru ca pe o foaie plată întinzându-se la nesfârșit, eliminând două dintre dimensiunile lui (să ne amintim că de la un spațiu-timp 4-D trebuie să ajungem la o foaie 2-D). Acum ne putem imagina celelalte universuri paralele așezate unele peste altele deasupra și dedesubtul universului nostru. E destul loc pentru toate.

În afară de extravaganța de a presupune un număr infinit de universuri, unii fizicieni afirmă că interpretarea lumilor multiple elimină liberul-arbitru. De fiecare dată când te confrunți cu o alegere – de pildă, să-ți atingi sau nu vârful nasului – și (crezi că) alegi liber să nu-l atingi, ceea ce se întâmplă de fapt este că universul se separă în două, și există un univers paralel în care ți-ai atins nasul. Ești conștient că ai urmat una din căile disponibile, dar va exista o altă versiune a ta care e conștientă că a făcut cealaltă alegere.

Interpretarea lumilor multiple a mecanicii cuantice a fost propusă în anii 1950 de fizicianul american Hugh Everett III, și, cu toate că la vremea aceea n-a fost bine primită, acum se arată interesați de ea tot mai mulți cosmologi care o consideră singura interpretare viabilă atunci când aplicăm mecanica cuantică întregului univers.

Pe de altă parte, ideea universurilor paralele a fost exploatată de autorii de SF, care și-au dat seama că îi scapă de paradoxurile călătoriei în timp. Recent, fizicianul de la Oxford David Deutsch a elaborat propria lui versiune a teoriei, arătând că, dacă vrem să luăm în serios posibilitatea călătoriei în trecut, trebuie să luăm în serios interpretarea lumilor multiple. Deutsch e un partizan înfocat al ideii lumilor multiple, pe care o numește interpretarea multiversului (termenul *multivers* desemnează mulțimea tuturor universurilor, întreaga realitate). Nu sunt convins de această perspectivă, dar nici n-o pot exclude. De altfel, interpretarea mea preferată a mecanicii cuantice este cea concepută de fizicianul David Bohm, care presupune existența doar a unui singur univers.

Așadar, cum rezolvă interpretarea lumilor multiple paradoxurile călătoriei în timp? Am menționat trei dintre ele atunci când am încercat să explic variantele de care dispune John Connor în paradoxul Terminator. Un călător în timp nu se va întoarce în trecutul universului său – ceea ce nu-i de mirare, odată ce are de ales dintr-un număr infinit de trecuturi –, ci în trecutul unui univers paralel.

Conform lui Deutsch, care în cartea sa *The Fabric of Reality* ia *ad litteram* ideea de univers bloc, universul nu se scindează în mai multe cópii ale lui însuși în momentul când suntem confruntați cu o alegere. Există în schimb un

număr infinit de universuri paralele. În momentul alegerii pur și simplu urmăm o anumită cale, ca un tren care trece printr-un nod de cale ferată complicat. Asta înseamnă că viitorul e deschis, fiindcă avem numeroase opțiuni disponibile, dar la fel este și trecutul. Propriul nostru spațiu-timp este doar unul din trecuturile *și* viitorurile în număr infinit. Întoarcerea în timp în multiversul lui Deutsch nu se deosebește de felul în care suntem purtați în mod normal către viitor: urmăm o buclă temporală într-un trecut posibil.

Abordarea lui Deutsch e doar una dintre interpretările lumilor multiple. Voi reexamina paradoxurile călătoriei în timp în cadrul unei versiuni mai convenționale a teoriei lumilor multiple – dacă putem numi „convențională“ o infinitate de universuri paralele. Paradoxul „nu-i de ales“ nu se mai aplică, odată ce suntem liberi să modificăm cum vrem trecutul, fiindcă nu va fi trecutul nostru. Evenimentele din universul paralel în care am călătorit nu trebuie neapărat să se desfășoare la fel ca în universul nostru. John Connor poate acum să-și ucidă mama și să împiedice nașterea lui în *acel univers*, iar mama din propriul lui univers supraviețuiește. Evident, dacă nu reușește s-o ucidă, el se va naște. Va exista acum un univers (care, din cauza tuturor celorlalte alegeri cuantice care au loc, va prolifera imediat) în care John Connor a crescut, s-a urcat într-o mașină a timpului și a dispărut

pentru totdeauna. Va exista și un alt univers în care vor exista unul sau doi „John Connor“, în funcție de reușita sau nereușita lui de a-și ucide mama. Dacă n-o ucide, cei doi John vor trăi unul alături de altul, însă va exista între ei o diferență de vârstă dată de intervalul cu care s-a întors în timp. Să reținem totuși că șansele ca John să găsească drumul înapoi către propriul său univers, sau măcar către unul asemănător cu acesta, sunt foarte mici. Pur și simplu există prea multe universuri din care se face alegerea.

Paradoxul „ceva din nimic“ poate fi și el înlăturat. Tabloul *Mona Lot* a fost, desigur, trimis înapoi din viitorul unui univers paralel, iar în acel univers a fost pictat de Leonardo. Leonardo nu trebuie să-și trimită tabloul înapoi în trecut la momentul cuvenit. Îl poate păstra. În fond, chiar dacă îl trimite înapoi, un al treilea Leonardo va fi cel care-l găsește în mașina timpului.

Până și problema creării mai multor cópii ale nouă înșine, străbătând bucle repetate în timp, e rezolvată. Dacă într-un univers faci o sută de cópii ale tale, asta înseamnă că există nouăzeci și nouă de alte universuri din care ai dispărut. Conservarea masei și energiei nu se mai aplică fiecărui univers în parte, ci tuturor universurilor luate împreună.

Unul dintre avantajele versiunii inițiale a interpretării lumilor multiple, în care universul se scindează doar atunci când ești pus în fața

unei alegeri, este că ne oferă o săgeată a timpului orientată în direcția creșterii numărului de universuri. Există întotdeauna mai multe universuri în viitor decât în trecut. Te-ai putea întreba dacă această regulă nu e încălcată atunci când permitem călătoria în trecut. Dacă mă întorc azi într-un ieri al unui univers paralel, pot provoca scindarea lui în funcție de alegerile pe care le fac odată ajuns acolo. Dar cum e posibil ca acel univers paralel să fi început să se scindeze ieri, înainte ca eu să iau până și hotărârea de a mă întoarce în timp? Este oare aici o altă formă a paradoxului „nu-i de ales“? Pare să fie ca și cum universul paralel în care sunt pe punctul să călătoresc ar trebui să știe dinainte că voi ajunge în el și voi face anumite alegeri, obligându-mă astfel să călătoresc în acel univers și să fac acele alegeri.

Interpretarea lumilor multiple oferă din nou o ieșire din impas. Relativitatea generală permite legarea universului nostru de un univers paralel într-un mod care nu implică neapărat călătoria în trecut, după cum vom vedea în capitolul următor, când voi prezenta găurile de vierme. Desigur, o asemenea legătură se poate face printr-o mașină a timpului. Greșeala din paragraful precedent e să ne închipuim că această legătură apare în momentul în care călătorim în trecut, când de fapt ea apare atunci când e creată (sau pusă în funcțiune) mașina timpului, existând astfel *posibilitatea* călătoriei

către orice univers care se desprinde de al nostru într-un moment ulterior punerii în funcțiune a mașinii timpului. În momentul punerii în funcțiune, vor exista universuri în care versiuni ale noastre încep să apară, pentru că, presupunând chiar că hotărâm să nu folosim mașina timpului sau s-o distrugem, e deja prea târziu. Confruntându-ne cu această alegere, universul nostru se scindează, și există alt univers în care n-am distrus mașina timpului, ci am folosit-o. În unele universuri am călătorit în trecut până la cel mai îndepărtat moment posibil (imediat ce mașina a fost pusă în funcțiune). În altele, am călătorit până la un moment ulterior. Chiar în vreme ce îți legi centura în mașina timpului, universul se scindează din cauza tuturor celorlalte alegeri făcute oriunde în spațiu, iar astfel va exista un număr infinit de versiuni ale tale care călătoresc în trecut. E momentul să mă opresc din scris și să mă odihnesc un pic.

UNDE SUNT TOȚI CĂLĂTORII ÎN TIMP?

Sper că v-am dat o idee despre problemele cu care ne confruntăm dacă stăruim asupra posibilității de a călători în trecut. Legile fizicii, așa cum le înțelegem noi, n-o exclud, așadar unde e viciul în raționament? Vă aflați pesemne într-o situație dificilă având de ales între a

suporta paradoxurile călătoriei în timp și a accepta ideea că există un număr infinit de universuri paralele, însă nici fizicienii n-au găsit un argument convingător care s-o excludă. Admițând totuși că e posibilă călătoria în timp, v-ați putea întreba unde sunt toți călătorii în timp venind din viitor. Dacă generațiile viitoare vor reuși vreodată să construiască o mașină a timpului, vor fi fără îndoială mulți cei care vor dori să viziteze secolul XXI, așa că ar trebui să-i vedem azi printre noi pe acești călători. Iată cinci posibile motive pentru care nu e de așteptat să vedem vreun călător în timp:

1. Călătoria în timp e interzisă de legi ale fizicii încă nedescoperite.

2. O mașină a timpului te poate duce în trecut doar până la momentul în care a fost pusă în funcțiune, nu și înainte de asta. Așadar, dacă vom descoperi în secolul XXIII cum să construim o mașină a timpului, nu vom putea vizita secolul XXI. Singura posibilitate ar fi să găsim o mașină a timpului care a apărut pe cale naturală și există de suficient de mult timp, cum ar fi o gaură neagră sau o gaură de vierme. Poate că nu există nici una în colțul nostru de univers.

3. Vor fi găsite mașini ale timpului naturale, iar oamenii le vor folosi pentru a călători înapoi în secolul XXI, dar se dovedește că teoria

lumilor multiple e versiunea corectă a realității. Universul nostru se întâmplă să nu fie dintre cele norocoase care primesc vizite din viitor.

4. A ne aștepta să vedem printre noi călători în timp presupune că ei ar vrea să viziteze acest secol. Poate că ei preferă să viziteze perioade mai frumoase și mai sigure.

5. Călătorii în timp se află printre noi, dar sunt discreți.

Oricât aș vrea să cred în călătoria în timp, n-aș paria pe ea. Motivul e simplu și l-am menționat mai sus. Pentru a fi posibilă călătoria în trecut, viitorul – viitorul nostru – trebuie să existe deja, ceea ce mi se pare greu de acceptat.

Nu disperați. Dacă nu vreți să renunțați la ideea călătoriei în timp, vă sfătuiesc să vă consolați cu gândul că există fisuri în legile fizicii care o permit. Câtă vreme călătoria în timp nu e categoric interzisă, ne vom continua explorarea.

PARTEA A III-A
Maşinile timpului

8
Găurile de vierme

„Uitați cum stă treaba“, spuse ea, „nu sunt expertă în relativitate generală. Dar n-ați văzut găuri negre? N-am căzut noi în ele? Nu valorează oare un gram de observație mai mult decât o tonă de teorie?“

„Știu, știu“, zise Vagay încercând să se stăpânească. „Trebuie să fie altceva. Nu se poate să înțelegem atât de greșit fizica. Sau se poate?“

Aproape lamentându-se, i-a pus această ultimă întrebare Edei, care a răspuns sec: „O gaură neagră care apare natural nu poate fi un tunel; în centrul ei se află o singularitate de care nu poți trece.“ — CARL SAGAN, *Contact*

Călătoria noastră ne-a dus de la începutul timpului până la marginea universului. Albert

Einstein ne-a arătat că realitatea e mult mai surprinzătoare și mai misterioasă decât ne-am fi închipuit. Timp deformat, găuri negre, universuri paralele, un trecut și un viitor care coexistă cu prezentul – nici una dintre acestea nu sunt SF. Nu sunt nici rezultatele speculațiilor unei minorități de savanți excentrici. Toate aceste bizarerii sunt rezultatul anilor de progres lent, iar unele dintre ele sunt considerate acum certitudini. De pildă, încetinirea timpului provocată de gravitație nu e „doar o teorie care se poate dovedi falsă mâine, când va apărea ceva mai bun“, ci e demonstrată zi de zi în laboratoare. Alte idei, deși posibile, s-ar putea să nu treacă testul timpului sau al cercetărilor continue. Uneori o teorie se dovedește a fi complet greșită dacă predicțiile ei intră în contradicție cu rezultatele unui experiment, sau e înlocuită cu o teorie mai bună, care explică mai multe fenomene și oferă o mai profundă înțelegere a naturii.

Suntem acum convinși de existența găurilor negre, deși deocamdată n-am întâlnit nici una. Găurile negre nu sunt doar o consecință inevitabilă a teoriei relativității generale, dar telescoapele ne dezvăluie amprente clare ale lor.

Cu totul altfel stau lucrurile cu găurile de vierme. Ele sunt permise de ecuațiile relativității generale, care dau o descriere a lor ca entități teoretice. Spre deosebire de găurile negre însă, găurile de vierme rămân curiozități

teoretice fără vreo dovadă astronomică privind existența lor în universul real. Îmi pare rău că trebuie să mă arăt sceptic față de niște obiecte despre care nici n-am apucat să vorbesc, dar e felul meu de a mă apăra împotriva acuzațiilor unor fizicieni care ar spune că mă apropii prea mult de granița dintre datele științei și SF. Pentru a justifica acest capitol în ochii celor care împărtășesc vederi mai conservatoare, voi cita un scurt fragment din cartea lui Matt Visser *Lorentzian Wormholes: From Einstein to Hawking*:

> Deși fizica găurilor de vierme e speculativă, teoriile fizicii pe care se bazează acestea, relativitatea generală și mecanica cuantică, sunt ambele testate și general acceptate. [Chiar] dacă ne imaginăm pe noi înșine într-un cotlon, înconjurați de inconsistențe și imponderabile dezastruoase, putem spera ca acest dezastru cu care ne vom întâlni să fie interesant și instructiv.

S-ar putea așadar ca găurile de vierme să nu existe, dar studiul lor ne-ar putea măcar ajuta să înțelegem ceva mai bine cum funcționează universul nostru. Și, apropo, ele n-au nici o legătură cu viermii.

O PUNTE CĂTRE ALTĂ LUME

Ideea găurilor de vierme e aproape la fel de veche ca relativitatea generală. După cum am văzut în capitolul 5, Karl Schwarzschild a fost primul care a înțeles că ecuațiile lui Einstein preziceau existența găurilor negre. Mai precis, pentru el, gaura neagră conținea în centru o singularitate, un punct de densitate infinită unde timpul însuși se oprește. La singularitate, toate legile cunoscute ale fizicii încetează să se mai aplice. Asta l-a tulburat pe Einstein. Nu-i plăceau aceste găuri în spațiu-timp, și nu-l mulțumea faptul că orizontul evenimentelor le proteja de lumea exterioară. Pentru Einstein, nu ajungea să nu vezi un lucru ca să nu te mai gândești la el.

În 1935, împreună cu colaboratorul său Nathan Rosen, Einstein a publicat un articol în care încerca să demonstreze că singularitățile lui Schwarzschild nu există. Folosind un truc matematic numit transformare de coordonate, ei au rescris soluția matematică a lui Schwarzschild așa încât să nu conțină vreun punct unde spațiul și timpul încetează. Ce au obținut însă era la fel de straniu. Ei au arătat că singularitatea devine o punte legând universul nostru de… un univers paralel! Nu e acel gen de univers paralel care s-ar separa de al nostru ca rezultat al mecanicii cuantice, despre care am vorbit în capitolul precedent. Această legătură între două universuri a fost numită *punte Einstein-Rosen*. Pentru Einstein era pur și

simplu un exercițiu de geometrie în care două spații-timp ar fi unite. Nu credea că o asemenea punte există în realitate, așa cum nu credea că singularitățile există în realitate. Era doar o ciudățenie a matematicii relativității generale.

Asemenea punți între lumi diferite nu erau însă o noutate nici la vremea aceea. Matematicienii din secolul XIX se pasionaseră de spații curbe și dimensiuni suplimentare. De fapt, exact cu o jumătate de secol înainte ca Einstein să-și publice relativitatea generală, un matematician englez pe nume Charles Dodgson a scris o carte pentru copii pe tema geometriei în mai multe dimensiuni și a universurilor paralele. Sub pseudonimul Lewis Carroll, el a scris în 1865 *Alice în Țara Minunilor*. Cunoaștem cu toții episodul în care Alice îl urmărește pe iepurele alb de-a lungul unei punți Einstein-Rosen într-un alt univers. În carte se numește gaură de iepure, dar e același lucru. În Țara Minunilor se puteau petrece lucruri stranii pentru că altele erau legile fizicii în acel univers. Desigur, Dodgson nu-și imagina ce tip de mecanism ar putea produce un tunel care să unească lumea noastră cu altă lume, încă nu apăruseră relativitatea, mecanica cuantică și cosmologia modernă. Povestea se baza doar pe idei geometrice privind felul în care spațiul ar putea fi curbat, iar cele două spații ar putea fi legate într-un hiperspațiu cu mai multe dimensiuni. O jumătate de secol mai târziu,

Einstein a arătat că o asemenea curbură apare atunci când există o concentrare suficient de puternică a masei (sau a energiei, odată ce energia e echivalentă cu masa). Relativitatea generală (o teorie a gravitației) oferea baza fizică pentru tuneluri către alte lumi, fără ca existența lor să fie dovedită.

Într-una dintre ultimele lui cărți, *Sylvie și Bruno*, publicată în 1890, Dodgson (pesemne și alți matematicieni ai vremii) se gândea deja la scurtături în același univers. În acea poveste, Faryland și Outland se află la o mie de mile depărtare, dar sunt legate de un „Drum Regal“ care te duce de la una la alta aproape instantaneu. Dodgson vorbește și despre călătoria în timp, schimbarea ritmului ceasurilor și inversarea sensului timpului.

Motivul pentru care în anii 1930 nimeni n-a fost prea entuziasmat de puntea Einstein-Rosen a fost că, spre deosebire de gaura iepurelui din *Alice în Țara Minunilor*, nu putea fi folosită ca mijloc de a ajunge în alt univers. Ne putem închipui că o punte Einstein-Rosen se formează dacă o singularitate din universul nostru se atașează de o singularitate dintr-un univers paralel. E posibil ca asta să se întâmple atunci când cădem într-o gaură neagră? Pentru mine, găurile negre sunt ceva în genul vieții de apoi. Așa cum nimeni nu știe ce-l așteaptă după moarte, nu putem ști cu siguranță ce se va întâmpla când cădem într-o gaură, până nu

cădem efectiv în ea. Dar atunci nu mai putem transmite informații celor care așteaptă în afara orizontului evenimentelor. Ca om de știință, aș vrea să cred că știm totuși ceva mai multe despre găurile negre decât despre viața de apoi, fiindcă cel puțin acestea se supun ecuațiilor matematice!

Așadar, de ce puntea Einstein-Rosen nu-i un mijloc bun de a trece în alt univers? În primul rând, există orizontul evenimentelor. Odată ce-ai sărit într-o gaură neagră, nu mai poți ieși din ea. Desigur, pentru a ieși pe cealaltă parte, gaura neagră în care sari trebuie să fie cuplată cu o gaură albă. Să ne amintim că aceasta e inversul găurii negre – ceva din care materia poate ieși, dar nu poate cădea în ea niciodată. Găurile albe trebuie deci să fie înconjurate de opusul orizontului evenimentelor, numit *antiorizont*, care permite traficul în sens unic spre exterior. Din păcate, antiorizonturile sunt extrem de instabile, și în câteva secunde de la formare se transformă în orizonturi normale. Prin urmare, odată ce ai trecut de orizontul evenimentelor primei găuri negre, ai găsi că există un al doilea orizont al evenimentelor care îți blochează ieșirea la celălalt capăt. Să ne închipuim un deținut închis într-o celulă care descoperă sub patul lui un tunel. Tunelul străbate câțiva metri sub pământ, pentru a conduce către celula alăturată.

Principala problemă cu puntea Einstein-Rosen este că e extrem de instabilă. Legătura poate supraviețui doar o fracțiune de secundă, nici măcar lumina n-o poate străbate. Așa încât, dacă ți va întâmpla vreodată să sari într-o gaură neagră, în speranța de a ajunge dincolo, vei fi prins în singularitate, și nu e prea plăcut să ți se micșoreze corpul până la o dimensiune mult mai mică decât cea a unui atom.

Toate acestea s-ar întâmpla presupunând că n-ai fi sfârtecat de forțele mareice ale gravitației înainte de a ajunge la singularitate. Gaura neagră ar trebui să fie supermasivă pentru ca tu să poţi măcar supraviețui traversării orizontului. Pe scurt, punțile Einstein-Rosen nu puteau fi mijloace de a vizita un univers vecin, așa încât multă vreme au rămas doar o curiozitate teoretică.

ALICE TRECE PRIN OGLINDĂ

Au existat câteva momente cruciale în istoria fizicii găurilor de vierme. După articolul lui Einstein și Rosen de la mijlocul anilor 1930, nu s-au întâmplat prea multe până în 1955, când John Wheeler, unul dintre marii fizicieni ai secolului XX (cel care a născocit denumirea *gaură neagră*), a publicat un articol în care a arătat pentru prima oară că un tunel în spațiu-timp nu trebuie neapărat să unească universul nostru cu un univers paralel, ci se poate curba

pentru a uni două regiuni diferite din universul nostru (ca toarta unei cești de cafea). Ar fi un tunel care apare în spațiul normal, oferind un alt drum între două „guri“ (printr-un spațiu cu mai multe dimensiuni), față de drumul care le leagă în spațiul normal. Doi ani mai târziu, Wheeler a introdus în jargonul fizicii expresia *gaură de vierme* într-un articol de referință despre ceea ce el numea *geometrodinamică*, studiul felului în care geometria, sau forma, spațiului se modifică și evoluează. Evident, lucrarea lui rămânea pur teoretică, nu urmărea decât să înțeleagă cum poate fi deformat spațiul-timp, fără legătură cu folosirea găurilor de vierme pentru a călători prin ele. De fapt, găurile de vierme care-l interesau pe Wheeler erau extrem de mici. El studia structura spațiului-timp la cea mai mică scară posibilă, acolo unde mecanica cuantică ne spune că totul devine difuz și incert. La acest nivel, însuși spațiul-timp devine ca o spumă, și pot apărea aleatoriu tot felul de forme și structuri stranii, inclusiv găuri de vierme minuscule. Pe acestea le voi numi *găuri de vierme cuantice*. Voi reveni curând la ele.

Următorul eveniment important a avut loc în 1963, când matematicianul neozeelandez Roy Kerr a descoperit că ecuațiile lui Einstein preziceau existența unui tip complet nou de gaură neagră, o gaură neagră care se rotește, deși nu și-a dat seama de asta de la început. Abia mai târziu a devenit limpede că soluția lui

Kerr se aplica oricărei stele în rotație care colapsează devenind o gaură neagră, iar din moment ce toate stelele se rotesc în jurul axei proprii cu diferite viteze, găurile negre ale lui Kerr erau mai generale și mai realiste decât cele ale lui Schwarzschild, care nu se rotesc. În plus, o gaură neagră s-ar roti mult mai repede decât steaua inițială din care s-a format, fiindcă e mult mai compactă. (Să ne amintim de comparația cu patinatorul care se învârte, din capitolul 5, unde am prezentat asemenea găuri negre.) Interesantă la rezultatele calculelor lui Kerr era natura singularității din centrul unei asemenea găuri negre. Ea nu mai trebuie să fie un punct de dimensiune zero, ca singularitatea din centrul găurilor negre ale lui Schwarzschild, ci ar fi în formă de inel. Întreaga materie e concentrată în perimetrul inelului, a cărui grosime e aproape zero, deci densitatea e aproape infinită. În mijlocul inelului e pur și simplu spațiu gol. În funcție de masa și de viteza ei de rotație, o asemenea singularitate inelară poate avea un diametru suficient de mare pentru ca oamenii sau chiar navele lor spațiale să călătorească prin ea.[43]

Astrofizicianul John Miller de la Oxford a arătat că, în vreme ce soluția lui Kerr reprezintă proprietățile spațiului-timp *din afara* oricărei găuri negre în rotație constantă, nu avem nici un indiciu că ea ar descrie corect ce se întâmplă *în interiorul* orizontului, inclusiv tot ce se leagă de

singularitatea inelară. Este doar o imagine posibilă a felului în care ar putea arăta interiorul unei găuri negre. Miller a sugerat că asemenea descrieri trebuie însoțite de un avertisment.

Ținând cont de asta, voi merge mai departe și voi descrie felul în care ar putea arăta o gaură neagră Kerr. Mai întâi, singularitatea inelară se deosebește și în alte privințe de singularitatea punctiformă a lui Schwarzschild. De pildă, singularitatea inelară are un al doilea orizont, interior, numit *orizont Cauchy*, care înconjoară singularitatea. Desigur, odată ce ai trecut de orizontul evenimentelor exterior, nu mai ai cale de întoarcere, dar vei putea vedea în continuare lumina provenind din universul extern, chiar dacă ea va fi curbată și focalizată de gravitația găurii negre. Orizontul Cauchy marchează frontiera zonei în interiorul căreia nu vei mai vedea lumina provenind din universul extern. În primă instanță pare un lucru rezonabil, dar să nu ne lăsăm înșelați. Găurile negre sunt misterioase, în privința lor nimic nu e simplu. Una dintre predicțiile bizare ale matematicii găurilor negre se leagă de ceea ce se întâmplă cu lumina pe măsură ce te apropii de orizontul Cauchy. Pentru că timpul tău se scurge din ce în ce mai încet, timpul din exterior e accelerat până când, la orizontul Cauchy, timpul din exterior se scurge infinit de repede, și vezi practic întreaga istorie a universului derulându-se într-o clipită când treci prin orizont. Mi se

pare extraordinar: tocmai când te-ai aștepta să vezi în fața ochilor întreg trecutul tău, vezi întreg viitorul.

Nu vreau să-i jignesc pe pasionații de găuri negre, dar trebuie să adaug că, în realitate, n-ai avea o perspectivă privilegiată asupra istoriei universului, fiindcă întreaga lumină care va intra vreodată în gaura neagră trebuie să sosească într-o singură clipă. Lumina care pătrunde va fi comprimată spre capătul albastru al spectrului. Este situația inversă față de ce vede un observator din afara găurii negre care urmărește cum lumina cade în ea. În acel caz, lumina e întinsă (deplasată spre roșu). Pe măsură ce te apropii de orizontul Cauchy, lumina e deplasată tot mai mult spre albastru, spre frecvențe tot mai mari. De aici rezultă de asemenea că lumina are energie tot mai mare și vei fi ars de acel puls final de radiație cu energie infinită. Desigur, toate acestea sunt valabile presupunând că ai supraviețuit forțelor mareice gravitaționale care te vor fi întins încercând să te sfârtece înainte de a ajunge la orizontul Cauchy.

Să lăsăm deoparte pentru moment aceste spaime că vei fi transformat în spaghete, iar apoi gătit de radiație, și să privim mai atent singularitatea însăși. Matematica relativității generale pare să sugereze că o singularitate Kerr e o fereastră către un alt univers. În loc ca Alice să cadă printr-o punte Einstein-Rosen în Țara

Minunilor, ea poate păși *prin oglindă*. Ai putea trece prin centrul inelului (având grijă să nu te apropii prea mult de margini, fiindcă acolo se află întreaga „materie“ a singularității), iar odată ce ai trecut ai lăsat pentru totdeauna în urmă propriul nostru spațiu-timp.

Așadar, unde ai ajunge dacă ai sări prin acest inel de foc cosmic? Răspunsul depinde în mod critic și incontrolabil de drumul exact pe care l-ai urma prin singularitate. O posibilitate este să ajungi într-o altă regiune a universului nostru, și, fiindcă spațiul și timpul sunt amestecate, aproape cu certitudine te vei afla și într-un alt timp. Ai putea fi în viitorul îndepărtat sau în trecutul îndepărtat. (Grozav, îți vei spune, iată în sfârșit o adevărată mașină a timpului.) Dar lăsând la o parte toate primejdiile unui salt într-o gaură neagră în rotație, călătoria printr-o singularitate Kerr e un drum cu sens unic. Asta nu înseamnă că nu te poți întoarce prin inel în partea de unde ai sărit, ci că n-ai ajunge înapoi de unde ai plecat. Nu uita că există mai departe orizontul cu sens unic al evenimentelor care te împiedică să ieși.

Am să rezum argumentele pro și contra unei găuri negre Kerr ca „poartă către stele“. Un argument pro este că poți evita să fii strivit până la dimensiune zero dacă navighezi cu atenție prin centrul singularității. Problema e că, din afara orizontului evenimentelor, nu poți vedea sub ce unghi trebuie să intri. Dacă intri din

lateral (în planul inelului), nu vei putea evita să te deplasezi în spirală și să te lovești de inel. O diferență importantă între singularitățile din interiorul găurilor negre care se rotesc (Kerr) și cele din interiorul găurilor negre care nu se rotesc (Schwarzschild) este că spațiul și timpul sunt altfel deformate. În jargonul relativității, spunem că o singularitate punctiformă este de tip spațial, iar o singularitate inelară este de tip temporal. O singularitate de tip spațial reprezintă marginea timpului (fie începutul lui, cum e singularitatea big bang, fie sfârșitul lui, cum se întâmplă cu o gaură neagră), în vreme ce o singularitate de tip temporal reprezintă marginea spațiului, de aceea poate fi o fereastră prin care să vedem dincolo de universul nostru.

Una peste alta, avem ghinion cu acele două orizonturi. Orizontul evenimentelor permite doar o călătorie în sens unic și ne împiedică să vedem singularitatea, așa încât nu putem alege unghiul de intrare corect. Pe de altă parte, orizontul Cauchy e locul unde ești prăjit de radiația infinit deplasată spre albastru. Am vrea deci să scăpăm de ambele orizonturi, rămânând cu ceea ce se numește o singularitate nudă expusă universului exterior. Există (poate) câteva moduri de a obține o singularitate nudă. Unul este prin radiația Hawking, care face ca o gaură neagră să se evapore treptat până când orizontul ei dispare complet, lăsând în urmă singularitatea expusă. Soluția e însă discutabilă,

iar mulți fizicieni cred că atunci când o gaură neagră se evaporă complet nu rămâne nimic în urma ei. În orice caz, asta e probabil să se întâmple doar cu găurile negre minuscule, și n-are rost să aștepți ca o gaură neagră supermasivă în rotație să se evapore. O asemenea gaură neagră poate totuși să-și piardă orizonturile pe altă cale. Cu cât o gaură neagră se rotește mai repede, cu atât se extinde mai departe orizontul ei Cauchy, apropiindu-se de orizontul evenimentelor. Dacă se rotește suficient de repede, cele două orizonturi se suprapun, iar în acel moment matematica prezice că ele se anulează reciproc și dispar.

O singularitate nudă se poate forma și prin colapsarea unei mase care se abate mult de la sfericitate, dar e foarte puțin probabil ca asemenea forme să existe în universul real. Existența acestui tip de singularitate nudă a fost prezisă prin simulări complexe pe care astrofizicienii le-au studiat pe calculator.

Trebuie să reamintesc că aproape tot ce am spus până acum în acest capitol se bazează pe predicții teoretice și pe speculații. Fizicienii nu cred că vor putea trece vreodată printr-o singularitate Kerr nudă și călători în alt univers sau la celălalt capăt al universului nostru. Scepticismul și temerile lor provin în parte din faptul că, dacă am putea s-o facem, am putea de

asemenea să călătorim în timp, ceea ce, după cum am văzut în capitolul precedent, mulți fizicieni refuză să ia în considerare.

Există însă și unele dificultăți de ordin practic care fac ca ideea de a călători prin asemenea singularități inelare să fie la fel ce improbabilă ca încercarea de a traversa o punte Einstein-Rosen. În primul rând, pare imposibil ca o gaură neagră să se rotească atât de repede încât să-și piardă orizonturile. Cercetări recente arată că orizontul Cauchy este extrem de instabil, iar imediat ce ai reuși să treci prin el (presupunând că găsești drumul prin centrul singularității), o vei perturba transformând-o în ceea ce se numește o singularitate nulă slabă, care e totuși o singularitate, și vei fi prizonier în interiorul ei.

CERTITUDINI ȘTIINȚIFICE ȘI SF

Tot ce știm deocamdată despre găurile negre pare să indice că ele nu vor putea fi niciodată folosite drept ferestre sau punți către alt univers sau către alte părți ale universului nostru, ceea ce nu descurajează speculațiile autorilor de SF, care de regulă nu iau în seamă obiecțiile fizicienilor sau chiar dovezile experimentale. Dar nu toți autorii de SF ignoră cele mai recente descoperiri și predicții ale fizicienilor. Mulți dintre ei sunt oameni de știință, iar în povestirile lor cel puțin nu disprețuiesc legile fizicii. Așa s-a întâmplat cu celebrul astrofizician Carl Sagan,

care în 1985 a scris romanul *Contact*. În povestea lui, după care s-a făcut și un film, oamenii intră în contact cu o civilizație extraterestră avansată folosind un tunel prin hiperspațiu (o gaură de vierme[44]) care leagă două regiuni îndepărtate ale Galaxiei, și prin care călătoresc eroii romanului. Sagan cunoștea posibilitatea utilizării în acest scop a unei punți Einstein-Rosen sau a unei singularități Kerr, dar voia ca povestea să fie cât mai realistă și faptele să fie corect prezentate. Deși cititorii pot accepta convenția literară, el, fiind om de știință, s-a hotărât să includă doar ceea ce relativitatea generală consideră că este cel puțin *posibil*.

Sagan i-a trimis deci o schiță a manuscrisului prietenului său Kip Thorne de la Grupul de Astrofizică Teoretică de pe lângă Institutul Tehnologic din California. Thorne e unul dintre cei mai mari specialiști din lume în relativitatea generală, iar Sagan spera că i-ar putea oferi niște sugestii, pe baza celor mai recente idei, care ar spori verosimilitatea povestirii. Nici unul dintre ei nu se aștepta la ceea ce avea să urmeze. Solicitarea lui Sagan i-a trezit lui Thorne curiozitatea, și, cu ajutorul doctorandului său Michael Morris, Thorne s-a hotărât să atace problema dintr-o perspectivă originală. Pentru a înțelege abordarea lui, trebuie să explic în linii mari cum arată ecuațiile relativității generale. Într-un termen al ecuației

se află informația despre masă și energie, iar celălalt descrie curbarea spațiului-timp în prezența acestei mase și acestei energii – e deajuns să spun că ecuațiile sunt incomparabil mai complexe decât ecuația lui Einstein din relativitatea specială, $E = mc^2$. De regulă, fizicienii încep prin definirea conținutului de masă și energie dintr-o anumită regiune a spațiului-timp, cum ar fi o stea, iar apoi rezolvă ecuațiile lui Einstein pentru a afla cum e influențat și ce proprietăți ar avea spațiul-timp din vecinătate. Thorne a început să se gândească dacă găurile de vierme sunt permise de teorie, dar n-a urmat abordarea tradițională. Era conștient de problemele care afectează soluțiile obișnuite pentru găurile negre, cum sunt orizontul evenimentelor, forțele mareice, singularitățile instabile, tunelurile care se stranguleaza înainte de a le putea traversa etc. A început în schimb cu ce dorea să obțină. Pentru povestea lui Sagan, gaura de vierme trebuia să fie stabilă, constant deschisă, să nu aibă orizonturi la nici unul din capete, pentru a permite călătoria în dublu sens, să nu aibă singularități și să n-aibă forțe mareice care i-ar ucide pe călători înainte de a intra în ea. Împreună cu colegii săi de la Caltech, Thorne a conceput matematic forma pe care trebuie s-o aibă spațiul-timp pentru a satisface toate aceste cerințe. Spre surpriza lui, a găsit că era posibil.

Thorne a înțeles că putea proiecta exact tipul de gaură de vierme de care Sagan avea nevoie. S-a dovedit că teoretic este posibil să existe o legătură între două părți ale universului, care arătau schematic la fel ca găurile de vierme cuantice ale lui Wheeler din urmă cu treizeci de ani. De data asta însă tunelurile ar fi suficient de largi pentru ca oamenii să le poată străbate fără să simtă vreo neplăcere. De pildă, un călător ar putea intra printr-o gură a găurii de vierme din apropierea Pământului, iar în scurt timp ar ieși la celălalt capăt al Galaxiei. Călătorul s-ar putea apoi întoarce prin gaura de vierme pentru a spune ce-a văzut. Această „legătură“ a fost numită „gaură de vierme traversabilă“, pentru a o deosebi de cele netraversabile, cum e puntea Einstein-Rosen. De acum înainte, când mă voi referi la aceste structuri, le voi numi pur și simplu găuri de vierme, subînțelegând că e vorba de cele traversabile.

O asemenea gaură de vierme e prezentată în figura 8.1, în care spațiul apare ca o foaie bidimensională. Cele două intrări în gaura de vierme se numesc „guri“, iar tunelul care le unește (precum toarta unei cești) se numește „gât“. E mai greu de înțeles faptul că, deși distanța în spațiul normal între cele două guri ale găurii de vierme poate fi oricât de mare (să zicem, o mie de ani-lumină), lungimea tunelului găurii de vierme poate fi oricât de mică (câțiva kilometri sau chiar metri). Asta nu se vede în

figura 8.1, unde s-ar părea că drumul prin gaura de vierme e mai lung decât cel drept prin spațiul normal. Nu uitați însă că gaura de vierme e o legătură între două regiuni din spațiul-timp 4-D curbat, ceea ce e imposibil de vizualizat.

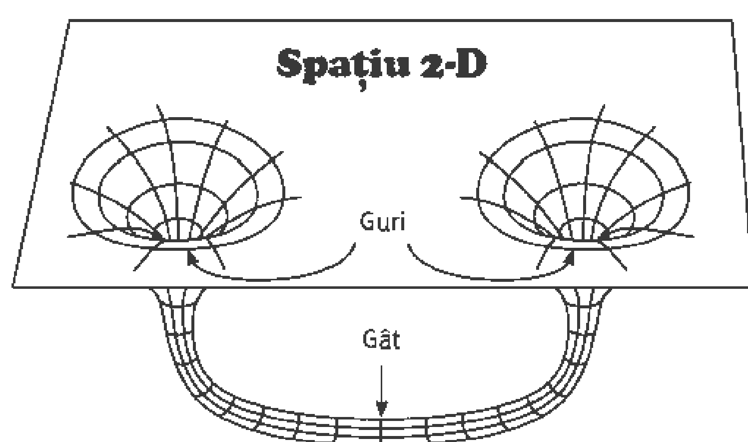


Figura 8.1 O gaură de vierme unind două regiuni din spațiul-timp 2-D.

Este de asemenea important de înțeles că gaura de vierme a lui Thorne nu e formată din găuri negre, și nu are orizonturi ale evenimentelor, așa încât e puțin probabil să întâlnim vreuna în univers. Prin urmare, cum am putea s-o construim noi înșine? Înainte de a vă entuziasma prea tare, trebuie spus că a construi o gaură de vierme traversabilă e o sarcină care pare să depășească tehnologia secolului XXI. Cum însă capitolul de față e dedicat speculațiilor, dați-mi voie să mă lansez mai departe în speculații. Un mod de a crea o gaură de vierme ar fi să extindem o gaură de vierme cuantică. Cea mai mică scară a lungimilor, de bilioane de ori mai mică decât dimensiunea atomilor, este *scara Planck*, acolo unde domnesc regulile incertitudinii cuantice,

iar noțiunea de lungime își pierde înțelesul. La acest nivel, toate legile cunoscute ale fizicii încetează să mai fie valabile, până și spațiul și timpul devin concepte vagi. Toate deformările imaginabile ale spațiului-timp vor apărea și vor dispărea brusc, într-un dans aleatoriu și haotic care are loc permanent și pretutindeni în univers și e descris de termeni precum „fluctuații cuantice“ și „spumă cuantică“. La această scară își duc o existență efemeră găurile de vierme minuscule ale lui Wheeler, iar spațiul spunem că e „multiplu conex“,[45] după cum se vede în figura 8.2. Ideea ar fi să capturăm cumva una dintre aceste găuri de vierme cuantice și s-o expandăm, crescându-i de multe ori dimensiunea inițială, înainte ca ea să dispară.

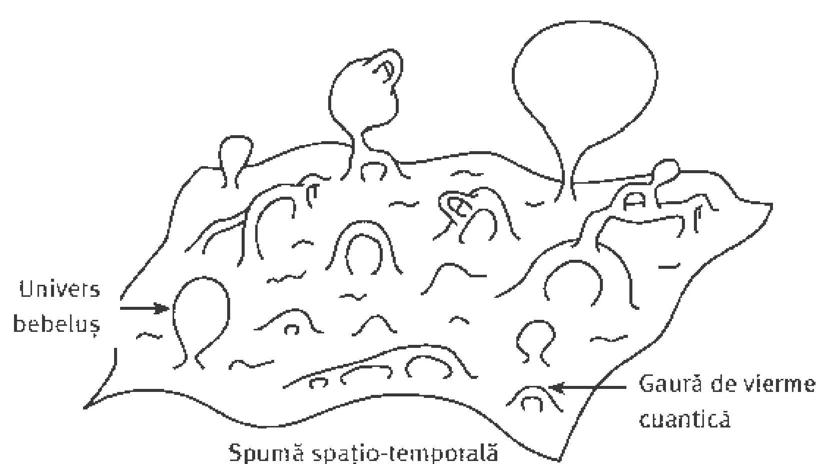


Figura 8.2 Fluctuații cuantice. La cea mai mică scară imaginabilă, spațiul-timp nu mai e neted. Diferite forme vor apărea și vor dispărea imediat.

Deocamdată nu știm cum s-ar putea face asta, dar un indiciu ne oferă felul în care a evoluat universul în prima fracțiune de secundă după big bang. Să ne amintim din capitolul 4 că majoritatea cosmologilor cred că universul a

trecut printr-o scurtă perioadă de expansiune foarte rapidă numită *inflație*. Se pare că acesta a fost mecanismul care a făcut ca minusculele fluctuații cuantice să se expandeze spectaculos pentru a deveni neregularități la scară mare, sau „încrețituri“, în spațiu. La rândul lor, acestea au produs variațiile densității de materie necesare pentru apariția galaxiilor. Dacă modelul inflaționar e corect, atunci spațiul care conține întreaga noastră Galaxie, cu miliardele ei de stele, a fost la un moment dat o fluctuație cuantică mult mai mică decât un atom. Dacă am înțelege mecanismul care a provocat inflația, l-am putea folosi pentru a expanda gaura noastră de vierme de la scara Planck la scară astronomică.

Indiferent cum a funcționat inflația imediat după big bang, e limpede că ea s-a opus atracției gravitaționale, creând o presiune orientată spre exterior (sau antigravitație) care a făcut ca spațiul să se întindă, iar universul să se expandeze. Ideea ar trebui să vă pară cunoscută: e vorba de acțiunea constantei cosmologice a lui Einstein, pe care el a propus-o pentru a stabiliza universul împotriva colapsului, și care, după ce a fost inițial respinsă, a fost acceptată de cosmologi. Dacă am putea aplica o asemenea „presiune negativă“ unei regiuni minuscule din spațiu și am provoca o mini-inflație controlată a spațiului, am putea produce, între alte „lucruri“, o gaură de vierme. Asta înseamnă, evident, că

asemenea găuri de vierme ar fi putut fi create în mod natural în univers, dar este extrem de improbabil (nu imposibil, totuși) ca unele dintre ele să mai existe și azi, fiindcă trebuie să fi colapsat foarte repede.

Dacă găurile de vierme create în mod natural chiar există, atunci, în afară de dificultatea de a găsi una (sau măcar o gură a ei), n-am ști unde ar putea conduce ea. Pentru a afla, nu ne-ar rămâne decât să încercăm s-o străbatem. Dacă nu găsim o gaură de vierme gata creată – fie una minusculă, pe care ar trebui s-o expandăm, fie una rămasă de la big bang –, soluția ar fi să pornim de la zero și să manipulăm noi înșine spațiul-timp. Chiar și la nivelul speculativ al acestei discuții, pare extrem de improbabil ca acest lucru să fie vreodată posibil. Cum domeniul e abia la începuturile sale, cercetătorii din „fizica găurilor de vierme" sunt mai curând interesați de proprietățile găurilor de vierme decât de modalitățile practice de a le crea. Articolele pe această temă încep adesea cu fraze de genul „Considerăm o gaură de vierme traversabilă unind două regiuni asimptotic plate din spațiu-timp…", ceea ce înseamnă de fapt „Să luăm o gaură de vierme…". Iar apoi se fac manevre complicate cu ecuațiile relativității generale. Datorită naturii speculative a fizicii găurilor de vierme, în aceste articole se vorbește frecvent despre „tăierea și lipirea" a două regiuni din spațiu-timp ca modalitate de a crea o

gaură de vierme. Asta ne face să ne închipuim că folosim foarfece și benzi adezive, iar spațiul-timp e tratat ca o foaie de hârtie 2-D. Chiar și fizicienii teoreticieni care scriu asemenea articole au în minte acest gen de imagini simple.

În ce-l privește pe Kip Thorne, în prezent el nu mai e la fel de preocupat de găurile de vierme ca la sfârșitul anilor 1980, când articolele sale au pus bazele domeniului. De atunci au apărut în reviste științifice prestigioase multe articole serioase și foarte complicate despre găuri de vierme de toate formele și dimensiunile, iar interesul pentru ele nu pare să scadă. Astăzi, pesemne că specialistul numărul unu în găuri de vierme este fizicianul Matt Visser de la Universitatea Washington din Saint Louis, care a scris prima carte de referință dedicată subiectului.

Visser a alcătuit o întreagă taxonomie a găurilor de vierme. El a arătat că există diferite încrengături și specii de găuri de vierme. Încrengătura de interes aici este cea a *găurilor de vierme lorentziene*, numite astfel pe baza felului în care e deformat spațiul-timp pentru a apărea gaura de vierme. Găurile de vierme lorentziene se împart în două specii: *permanente* și *efemere* – evident, ne interesează cele permanente. Fiecare din aceste specii conține două subspecii: gaura de vierme poate lega două universuri (gaură de vierme inter-univers) sau două regiuni, posibil îndepărtate,

ale aceluiași univers (gaură de vierme intra-univers). La rândul lor, cele două subspecii se împart în varietățile microscopică și macroscopică. „Macroscopic“ înseamnă de regulă că gaura de vierme e traversabilă, iar „microscopic“ se referă la găurile de vierme studiate inițial de Wheeler. În general, găurile de vierme cuantice ale lui Wheeler sunt efemere, fiindcă apar și dispar conform regulilor mecanicii cuantice, dar datorită incertitudinii din mecanica cuantică ar putea fi create din când în când și găuri de vierme permanente (adică având curbura spațiului-timp care să le permită să supraviețuiască mult mai mult decât în mod normal).

POARTA STELARĂ DESCHISĂ

Dintre toate proprietățile găurilor de vierme, cea despre care se vorbește cel mai mult e stabilitatea lor. Vi se poate părea surprinzător, dat fiind că nici măcar nu știm cum să creăm o gaură de vierme, dar fizica domeniului se ocupă de tot ce e posibil – sau, mai degrabă, nu-i imposibil. E suficient că găurile de vierme propuse de Thorne *pot* exista teoretic, cum anume sunt ele create este de interes secundar. Ceea ce însă nu e deocamdată clar este dacă gaura de vierme poate fi păstrată deschisă

suficient de mult timp pentru ca cineva care se deplasează cu o viteză confortabilă (mult mai mică decât viteza luminii) să poată trece prin ea.

Una dintre condițiile pe care Thorne a vrut să le impună asupra găurii sale de vierme traversabile a fost aceea de a nu se strangula rapid ca o punte Einstein-Rosen sau de a nu se închide brusc ca o singularitate Kerr. El a descoperit însă că nu-i deloc un lucru simplu. Gâtul găurii de vierme nu rămâne de la sine deschis, ci trebuie ajutat. Ați putea crede că n-ar fi o problemă, din moment ce ne putem imagina că am construi în interiorul găurii de vierme un fel de eșafodaj atât de robust încât să reziste uriașelor forțe gravitaționale care încearcă s-o închidă. Evident, asta depășește cu mult posibilitățile noastre tehnologice, dar *nu-i imposibil*. Din păcate, se dovedește că nici un material cunoscut din univers nu îndeplinește cerințele lui Thorne. El a înțeles că singura modalitate prin care gaura sa de vierme să rămână deschisă ar fi ca aceasta să fie armată cu un material straniu având masă negativă! Ce ar putea însemna asta? Cum poate să aibă ceva o masă mai mică decât zero? Masa și energia fiind interșanjabile, ar trebui să aibă energie negativă, ceea ce e la fel de absurd. Folosind un eufemism, Thorne a numit acest material „exotic“.

O confuzie larg răspândită când se pomenește de asemenea lucruri e să te gândești la

antimaterie. Nici vorbă. Antimateria e nimica toată față de materia exotică. Antimateria are masă pozitivă și produce asupra spațiului-timp exact aceleași efecte ca materia normală. Diferența dintre materie și antimaterie este că au proprietăți opuse, cum e sarcina electrică. Așa cum electronul are sarcină negativă, există perechea lui de antimaterie, pozitronul, echivalent cu electronul în toate privințele, cu excepția faptului că are sarcină pozitivă.[46] Dacă aducem laolaltă o bucată de materie și una de antimaterie, ele se anihilează reciproc într-o explozie de energie pură. Dar o bucată izolată de antimaterie va cădea spre Pământ, supunându-se legii gravitației la fel ca materia normală. Pe de altă parte, dacă dăm drumul unei bucăți de materie exotică, ea va resimți o forță antigravitațională care o îndepărtează de suprafața Pământului!

Așadar, de unde poți cumpăra cantități suficiente din acest material exotic pentru a-l folosi la gaura ta de vierme? Ei bine, știm cum să creăm o cantitate minusculă de energie negativă. Nu-i mult, dar e un început. Studiul găurilor de vierme traversabile a trezit din nou interesul pentru un efect descoperit în 1948 de fizicianul olandez Hendrik Casimir și demonstrat apoi experimental. El implică o proprietate a ceea ce am considera că e spațiul complet gol.

Dacă extragem tot aerul dintr-o incintă, spunem că avem acolo vid, ceea ce înseamnă că în interiorul incintei nu e materie – și deci, sper că sunteți de acord cu mine, energia este zero. La nivel cuantic însă, chiar și în vid există agitație. Ajunși în acest punct, vă recomand să citiți din nou secțiunea din capitolul 5 în care spun că găurile negre nu sunt complet negre și vorbesc despre radiația Hawking. Arăt acolo că particule și antiparticule apar continuu și dispar imediat, fără să lase vreo urmă. Casimir a găsit un mijloc de a folosi acest proces pentru a extrage energie din vid.

După cum prea bine știm cu toții, dacă împrumutăm bani de la o bancă, trebuie să-i restituim. Regulile mecanicii cuantice, exprimate în principiul de incertitudine al lui Heisenberg, funcționează asemănător. Spre deosebire însă de împrumutul bancar, pentru care suntem liberi să ne alegem termenul de plată al datoriei, principiul de incertitudine e mai strict. El ne spune că poate fi împrumutată energie de la vid, cu condiția să fie restituită foarte rapid. Cu cât e împrumutată mai multă energie de la vid, cu atât trebuie restituită mai repede. Să încercăm acum să vedem ce se întâmplă în vid la nivel microscopic. Printre numeroasele particule care se formează prin împrumut de energie se află și fotonii (particule de lumină). Sunt creați fotoni ale căror energii iau toate valorile. Cei de energie înaltă,

corespunzând luminii cu lungime de undă scurtă, supraviețuiesc mult mai puțin timp decât fotonii de energie joasă, corespunzând luminii cu lungime de undă mare. Astfel, în orice moment, vidul conține mulți asemenea fotoni (și alte particule), dar va avea o energie medie egală cu zero, deoarece fiecare particulă a împrumutat doar temporar energia necesară pentru a fi creată.

Casimir a arătat că vidul poate fi convins să cedeze permanent o cantitate minusculă de energie luând două plăci metalice și așezându-le în vid, la mică distanță una de alta. Dacă distanța dintre plăci nu e egală cu un număr întreg de lungimi de undă corespunzând fotonilor de o anumită energie, acești fotoni nu se vor putea forma în spațiul dintre plăci, pentru că lungimile lor de undă nu se potrivesc acolo.[47] Prin urmare, numărul fotonilor care se formează în vidul dintre plăci e mai mic decât numărul fotonilor care se formează de cealaltă parte a plăcilor, deci vidul dintre plăci va avea o energie mai mică. Cum însă vidul din exteriorul plăcilor are energie zero, regiunea dintre plăci trebuie să aibă energie negativă. Ca atare, cele două plăci sunt atrase una spre alta cu o forță foarte slabă, care a fost totuși măsurată experimental. Din păcate, cantitatea de energie negativă care poate fi astfel creată e minusculă, departe de ce e nevoie pentru a menține deschisă o gaură de vierme. Dar e un început.

Rămânând fidel spiritului acestui capitol, nu spun că prin efectul Casimir se va produce într-o bună zi suficientă materie exotică pentru a căptuși gâtul unei găuri de vierme, ci doar că existența unui asemenea material, având energie negativă minusculă extrasă din spațiul vid, nu e invalidată de legile fizicii. De fapt, unii fizicieni s-au gândit că ar trebui să existe o modalitate de a capta energie din vid într-un mod sistematic, dar încă nu se știe cum, iar eu bănuiesc că va fi imposibil. Ca să vă faceți o idee despre cantitatea necesară de material exotic, Matt Visser a calculat că am avea nevoie de o masă echivalentă cu cea lui Jupiter pentru a menține deschisă o gaură de vierme cu lărgimea de un metru.

Am mai putea face rost de material exotic și de la ceea ce se numește *coardă cosmică* [*cosmic string*]. Acest material ar putea fi o rămășiță a big bang-ului, dar existența lui e îndoielnică. Corzile cosmice nu trebuie confundate cu corzile din teoria supercorzilor, despre care voi vorbi în ultimul capitol. Corzile cosmice ar putea fi în formă de buclă sau s-ar putea întinde de-a lungul universului (și ar avea lungime infinită dacă universul e infinit). În orice caz, n-ar avea capăt. O coardă cosmică ar avea diametrul mult mai mic decât dimensiunea unui atom, dar ar fi atât de densă încât un milimetru din ea ar cântări un milion de miliarde de tone. Se speră că, dacă universul a

trecut printr-o perioadă inflaționară declanșată de antigravitația rezultând dintr-o constantă cosmologică nenulă, atunci starea universului din acea perioadă putea să fi fost „înghețată“ în coarda cosmică. Coarda ar conține deci materie exotică sau orice va fi produs inflația antigravitațională la acel moment. Dacă am putea găsi o asemenea coardă în univers, am avea cu ce să ne căptușim gaura de vierme.

VIZITAREA UNUI UNIVERS PARALEL

Am vorbit până acum doar despre găurile de vierme intra-univers, care ar lega două puncte îndepărtate unul de altul din universul nostru. Găurile de vierme cuantice ale lui Wheeler ne-ar putea însă lega și de un univers paralel – ceea ce Hawking a numit „univers-bebeluș“ [*baby universe*]. Universurile-bebeluș ar fi ca bulele care se formează și cresc în spuma cuantică din universul nostru, și sunt legate de noi printr-o gaură de vierme ca un cordon ombilical. Un asemenea univers-bebeluș ar putea începe el însuși să se extindă într-un hiperspațiu cu mai multe dimensiuni, iar dacă legătura prin gaura de vierme se rupe, se separă pentru totdeauna de universul nostru. Dacă așa stau lucrurile, atunci chiar universul nostru ar fi putut apărea din spuma cuantică a unui alt univers mai vechi.

Așadar, la fel cum am expanda o gaură de vierme pornind de la nivel cuantic, am putea

expanda și o asemenea gaură de vierme inter-univers care ne leagă de un univers vecin. Dacă se va dovedi că trăim într-un univers închis, ne putem imagina un viitor îndepărtat în care universul colapsează către un big crunch. Dacă vor mai exista atunci oameni, ei vor dori să scape de colapsul în singularitatea finală sărind printr-o gaură de vierme într-un univers mai tânăr care are aceleași proprietăți ca al nostru.

---

43. Singularitățile sunt așadar ceva mai general decât puncte de dimensiune zero. O singularitate apare orinunde există o margine a spațiului-timp. În modelul 2-D al foii de cauciuc, orice tăietură în foaie constituie o singularitate. (*N. a.*)

44. Observați că până acum am evitat să folosesc termenul „gaură de vierme“ pentru a descrie o legătură între două găuri negre aflate sau nu în rotație. Am rămas la termenii punte Einstein-Rosen și singularitate Kerr, iar motivul pentru care am făcut-o se va lămuri curând. (*N. a.*)

45. Vezi nota de subsol de la p. 108. (*N. t.*)

46. Echivalența dintre particule și antiparticule nu e totuși absolută – vezi nota de la p. 164 legată de violarea simetriei CP –, ceea ce ar explica de ce universul nostru e alcătuit din materie, nu din antimaterie, iar antimateria nu apare decât pentru scurt timp, fiind imediat anihilată la contactul cu materia. (*N. t.*)

47. Așa cum o coardă care vibrează nu produce decât sunete ale căror lungimi de undă împărțite la

doi și înmulțite cu un număr întreg dau lungimea corzii. Această afirmație reflectă caracterul ondulator al obiectelor cuantice. (*N. t.*)

9
Cum să construiești o mașină a timpului

Rețetă pentru tocană de balaur: Mai întâi, găsește un balaur… — MATT VISSER, *Lorentzian Wormholes*

Ajunși în acest punct, puteți în sfârșit înțelege la ce fel de fizică trebuie să apelăm dacă vrem să construim o mașină a timpului. Am vorbit despre cele două teorii ale lui Einstein, relativitatea specială, în care timpul și spațiul sunt unite în spațiul-timp cvadridimensional, și relativitatea generală, în care spațiul-timp e deformat în prezența materiei și energiei. De ambele teorii vom avea nevoie în acest capitol. Am vorbit despre natura timpului și am analizat acele dificultăți pe care trebuie să le învingem dacă insistăm asupra posibilității călătoriei în trecut. A sosit momentul recompensei.

Voi lăsa deocamdată deoparte toate obiecțiile (întemeiate) față de călătoria în timp, și voi adopta perspectiva pragmatică și foarte optimistă după care, câtă vreme călătoria în timp nu e interzisă de legile fizicii așa cum le înțelegem azi, există o speranță. Voi arăta cum

am putea construi cea mai simplă mașină a timpului. Să nu înțelegeți de aici că m-am hotărât să accept posibilitatea călătoriei în timp, ci doar că pentru moment, asumându-mi riscurile, înclin balanța în favoarea ei.

BUCLE TEMPORALE

Săptămâna trecută am citit într-un ziar un articol intitulat „Este oare cu putință ca Einstein să se fi înșelat?“. „Oh, nu“, mi-am zis, „altă idee trăsnită care încearcă să combată relativitatea specială.“ Pentru mine, să citesc că relativitatea specială s-a dovedit a fi eronată e ca și cum aș citi că s-a descoperit că Pământul e plat. După tot ce știm, ambele afirmații ar fi absurde. Numai că în acel articol era discutată relativitatea generală, care, de fapt, nu suferea nici un atac, doar titlul era înșelător.

Majoritatea fizicienilor cred că relativitatea generală e cea mai frumoasă teorie științifică descoperită vreodată. Frumusețea ei stă în simplitate, eleganță și bogăția ecuațiilor matematice. Recunosc că doar o infimă parte din omenire poate să aprecieze această frumusețe, fiindcă e nevoie de ani de pregătire. Pentru cei mai mulți e doar o îngrămădire de simboluri grecești. Pe de altă parte, eu n-am putut niciodată aprecia sau înțelege meritul artistic al cubismului. Dar, pe lângă plăcerea pe care o oferă fizicienilor teoreticieni, relativitatea

generală a fost confirmată experimental în repetate rânduri. Trebuie spus însă că în aproape toate cazurile a fost confirmată doar pentru ceea ce se numește „limita câmpului slab“. Rămâne să fie pusă la încercare în situații care se abat mult de la gravitația newtoniană.

Articolul de care pomeneam prezenta un tip nou de experiment care, se anticipa, va confirma o altă predicție a relativității generale: *undele gravitaționale*. Primul paragraf al articolului spunea că, dacă undele gravitaţionale *nu vor fi găsite*, se va dovedi că relativitatea generală e greșită. Atât de mare e încrederea fizicienilor în teorie, încât cei care lucrau la experiment erau convinși că vor găsi curând ce caută. Din păcate, un articol intitulat „Suntem pe cale să obținem noi dovezi experimentale că Einstein a avut dreptate“ nu merită să fie publicat.

Undele gravitaționale sunt perturbări sau încrețituri ale texturii spațiului provocate de mișcarea unui obiect masiv. Gândiți-vă la modelul plasei elastice pentru spațiu. Când stai în centrul ei, greutatea ta face să apară o adâncitură în plasă. Aceasta e imaginea simplă a felului în care masa influențează spațiul din jurul ei. Dacă începi apoi să sari în sus și-n jos vei face ca plasa să vibreze, și, presupunând că are o suprafață foarte mare, aceste vibrații se propagă spre margini, la fel cum se răspândesc încrețiturile pe suprafața unui lac când arunci o piatră. În mod asemănător, mișcarea obiectelor

masive, cum ar fi colapsul unei stele pentru a forma o gaură neagră, va transmite încrețituri *nu prin spațiu*, ci *ale spațiului*, care vor influența orice obiect din calea lor. Se speră ca experimentele de pe Pământ să detecteze efectele pe care aceste unde gravitaționale le au asupra echipamentului sensibil, care va fi foarte ușor întins și comprimat când undele trec prin el.[48]

Desigur, undele gravitaționale n-au nici o legătură cu mașinile timpului, le-am pomenit doar ca exemplu de predicție neambiguă a relativității generale. Relativitatea generală e însă atât de bogată încât permite (teoretic) existența unor forme spațio-temporale exotice greu de acceptat. Una dintre ele, de relevanță în acest capitol, se numește *curbă de tip temporal închisă*. E un drum circular prin spațiul-timp deformat în care timpul însuși e încolăcit în jurul unui cerc. Dacă ai urma un asemenea drum, ți s-ar părea că te miști prin spațiul obișnuit. Dacă ți-ai privi ceasul în cursul acestei călătorii circulare, ai vedea că merge înainte, așa cum e normal. Totuși, după o vreme vei ajunge în locul *și* în timpul de la care ai pornit conform unui ceas rămas acolo. Un asemenea drum ar presupune să te întorci în trecut pe o porțiune a călătoriei tale. Desigur, dacă te întorci în timp, ai putea reveni în locul de unde ai plecat *înainte să pornești*, altminteri n-ai

câștiga nimic din călătorie. Orice deformare suplimentară a spațiului-timp va face ca bucla temporală să te ducă în trecut.

Așadar, *curba de tip temporal închisă* e termenul tehnic pentru „mașina timpului“. O voi numi mai simplu „buclă temporală“. Se știe de mult că relativitatea generală permite existența buclelor temporale, dar atunci când apar în calcule sunt de regulă ignorate pe motiv că presupunerile inițiale introduse în ecuații au fost nerealiste. Cum știu fizicienii să-ți spulbere iluziile! Din păcate, atitudinea asta e justificată, și sunt o mulțime de exemple care ne arată de ce. De pildă, dacă ți se spune că un pătrat are aria de 9 metri pătrați, deduci că laturile lui sunt de 3 metri, fiindcă aria pătratului se obține din 3 × 3. Însă și –3 × –3 face 9 (la înmulțire, negativ cu negativ dau pozitiv). N-am spune totuși niciodată că latura unui pătrat are –3 metri, așa încât ignorăm această posibilitate, fiindcă nu are sens fizic. Ecuațiile matematice care descriu lumea reală dau adesea, împreună cu răspunsul corect, asemenea răspunsuri lipsite de semnificație fizică, absurde, care trebuie ignorate. Pentru marea majoritate a fizicienilor care se ocupă cu relativitatea generală, buclele temporale fac parte din această categorie. Se consideră că n-au sens fizic din cauza tuturor problemelor legate de călătoria în trecut.

În ultimii ani însă, unii fizicieni n-au mai fost dispuși să respingă automat buclele temporale,

care au devenit un domeniu de studiu la modă. După cum vom vedea, aceasta se datorează în parte cercetărilor lui Kip Thorne asupra găurilor de vierme. Totuși, în ciuda ușurinței cu care buclele temporale pot fi produse ca soluții ale ecuațiilor lui Einstein, fizicienii nu sunt convinși că ele pot exista cu adevărat în universul nostru.

Prima soluție a ecuațiilor relativității generale care descrie un spațiu-timp conținând bucle temporale a fost găsită de W.J. van Stockum în 1937, dar legătura dintre această soluție matematică stranie și posibilitatea folosirii ei pentru a descrie călătoria în timp n-a fost înțeleasă decât mult mai târziu. Soluția lui van Stockum presupunea existența unui cilindru infinit de lung dintr-un material extrem de dens, care se învârte rapid în jurul axei sale în spațiul gol – nu-i ceva peste care să dai din întâmplare, dacă nu cumva te afli la bordul navei spațiale Enterprise. Relativitatea generală prezicea că regiunea de spațiu-timp din jurul cilindrului ar fi răsucită în jurul lui și ar putea conține o buclă temporală, dar cilindrul infinit de lung a fost pe drept cuvânt considerat nerealist. Mai mult, calculele preziceau că, chiar și la distanțe foarte mari de cilindru, spațiul-timp ar avea proprietăți stranii. Dacă un asemenea cilindru de materie ar exista în universul nostru, am putea să-i vedem local efectele chiar și dacă s-ar afla la celălalt capăt al universului.

Buclele temporale au intrat cu adevărat în centrul atenției odată cu articolul clasic al lui Kurt Gödel din 1949, în care acesta descria un univers care conține bucle temporale. Universul lui Gödel se deosebea însă de cel în care trăim: își menținea stabilitatea împotriva atracției gravitaționale a materiei, orientată spre interior. În loc să se extindă, cum e cazul universului nostru, se rotea. Dacă într-un asemenea univers un călător spațial ar urma o traiectorie circulară suficient de largă, el s-ar întoarce în punctul de plecare înainte să pornească. Așadar, călătorie în timp!

Deși Einstein, care lucra în aceeași clădire a Institutului pentru Studii Avansate de la Princeton ca Gödel, a fost la început tulburat de acest rezultat, el (și majoritatea celorlalți fizicieni) l-a considerat irelevant pentru universul real, despre care știm că *nu* se rotește. Gödel însuși a ignorat posibilitatea călătoriei în timp nu doar pentru că modelul lui de univers se deosebea de cel real, dar și pentru că era imposibil de realizat practic: ca să parcurgă o buclă temporală, viteza unei rachete și distanța străbătută de ea erau nerealiste. Cert este totuși că Gödel a propus un scenariu (ce-i drept, nerealist) care nu încălca legile fizicii, era în perfect acord cu relativitatea generală, dar conținea bucle temporale, cu toate paradoxurile călătoriei în timp pe care acestea le implicau. Majoritatea fizicienilor credeau, și încă mai

cred, că fisurile fizicii care permit existența acestui gen de soluții vor dispărea odată ce se va ajunge la o mai bună înțelegere. Universul lui Gödel rămânea doar o curiozitate matematică.

MAȘINA TIMPULUI A LUI TIPLER

În anii 1960 și 1970, numeroase alte modele de spațiu-timp conținând bucle temporale au fost descoperite de fizicienii care studiau proprietățile ecuațiilor relativității generale. Toate aveau în comun faptul că implicau obiecte masive aflate în rotație, care răsuceau spațiul-timp din jurul lor. Cele mai cunoscute contribuții au venit din partea unui tânăr fizician american pe nume Frank Tipler, al cărui articol publicat în 1974 a suscitat un mare interes la acea vreme. Tipler a reanalizat lucrarea lui van Stockum despre cilindrul în rotație, și a făcut un pas mai departe. Mai întâi a demonstrat matematic că, pentru a ne asigura că există o buclă temporală în jurul cilindrului, cilindrul trebuie într-adevăr să fie infinit de lung, să fie alcătuit dintr-un material foarte dens și să se rotească în jurul axei proprii de o mie de ori pe secundă. Cea mai mare dificultate era, desigur, partea care ținea de „infinit de lung“ – mai ușor de zis decât de făcut. Așa încât Tipler a estimat de ce avea nevoie pentru a construi efectiv o mașină a timpului. A sugerat că s-ar putea

descurca cu un cilindru de doar 100 de kilometri lungime și diametru de 10 kilometri. Problema era că nu se mai putea baza pe calcule riguroase ca să demonstreze că asta ar fi de ajuns pentru a deforma suficient spațiul-timp. Și chiar dacă s-ar putea obține o buclă temporală, cilindrul trebuia să fie fantastic de robust și de rigid pentru a nu fi strivit pe lungimea lui de solicitarea gravitațională imensă pe care ar resimți-o, pe de o parte, iar pe de altă parte, pentru a rezista enormei forțe centrifuge care ar încerca să azvârle materialul lui spre exterior, căci viteza de rotație la suprafața cilindrului este jumătate din viteza luminii. Toate acestea, a subliniat Tipler, erau probleme de ordin practic, și nu putem ști unde va ajunge tehnologia în viitorul îndepărtat.

Pentru a folosi cilindrul lui Tipler ca mașină a timpului, trebuie să părăsești Pământul cu o navă spațială și să călătorești acolo unde cilindrul se învârte în spațiu. Când te apropii suficient de suprafața cilindrului (unde spațiul-timp e cel mai deformat), orbitezi de câteva ori în jurul lui, apoi te întorci pe Pământ, ajungând în trecut. Cu cât de mult timp în trecut depinde de numărul de orbitări. Deși în vreme ce orbitezi în jurul cilindrului simți că timpul tău merge înainte în mod normal, în exterior regiunea deformată prin care te miști se deplasează constant în trecut. E ca și cum ai

urca o scară în spirală, iar la fiecare ciclu pe care-l închei ai descoperi că te afli cu un etaj *mai jos* decât precedentul!

Și alți cercetători au arătat că s-ar putea să n-avem nevoie de cilindri infinit de lungi pentru a obține bucle temporale, iar călătoria în timp ar fi posibilă dacă orbitezi în jurul unei stele neutronice sau al unei găuri negre care se rotesc în jurul axei proprii, cu condiția să se rotească suficient de repede. Astronomii au găsit deja stele neutronice (pulsari) care se rotesc cu o viteză apropiată de cea necesară. Acestea poartă numele de „pulsari milisecundă", fiindcă efectuează o rotație completă în jurul axei proprii în câteva milisecunde (o milisecundă fiind a mia parte dintr-o secundă). Unii afirmă că trebuie să simulăm un cilindru lung, caz în care ar trebui să așezăm mai mulți pulsari milisecundă unul peste altul, iar apoi să găsim o modalitate de a-i împiedica să se strivească unul de altul, formând o gaură neagră.[49] Alte calcule arată că e suficientă o gaură neagră în rotație rapidă, care și-a azvârlit orizonturile, lăsând în urmă o singularitate inelară nudă, pentru a obține o buclă temporală în jurul ei. Calculele pentru toate aceste propuneri fantastice și minunate sunt însă departe de a fi concludente.

MAȘINILE TIMPULUI CU CORZI COSMICE

Mașina timpului a lui Tipler ar putea fi realizată folosind o coardă cosmică. Am văzut în capitolul precedent că o coardă cosmică poate fi utilă pentru a menține deschis gâtul unei găuri de vierme. Și în acest caz, coarda cosmică poate oferi materialul de care avem nevoie. Ar fi suficient de lungă și, fără îndoială, suficient de densă. Nu ne-ar rămâne decât s-o facem să se rotească suficient de repede în jurul axei proprii. Ceea ce, desigur, presupune că: a) coarda cosmică există, b) o putem localiza și călători până la ea, c) putem găsi o modalitate de a o face să se rotească suficient de repede și d) ar apărea într-adevăr în jurul ei o buclă temporală.

Chiar dacă o coardă cosmică nu se rotește, spațiul-timp din jurul ei are distorsiuni stranii (mai stranii și decât spațiul-timp din jurul unei găuri negre!). Oricât te-ai apropia de coardă, în ciuda marii ei densități n-ai simți forța de atracție gravitațională, iar spațiul-timp e plat. Spațiul propriu-zis însă va avea o formă de con în jurul corzii. Ca să vizualizăm acest lucru, să considerăm, pentru simplitate, un spațiu 2-D și o traiectorie circulară în jurul corzii. Ar fi ca și cum o pană din spațiu ar fi îndepărtată, așa cum se vede în figura 9.1a, iar cele două margini ar fi lipite ca în figura 9.1b. Asta ar face ca spațiul să se închidă în forma unui con. În mod normal, circumferința unui cerc e dublul razei înmulțit cu *pi*. Astfel, dacă lipsește o parte din cerc, circumferința lui devine mai mică pentru

aceeași rază. Dacă ai călători pe un cerc de rază dată în jurul corzii, ai găsi că distanța străbătută ca să te întorci în punctul de plecare e mai scurtă decât dacă ai parcurge un cerc de aceeași rază în spațiul normal (departe de coardă). Coarda e reprezentată aici ca un punct 0-D în spațiul 2-D. De fapt, e o linie 1-D în spațiul 3-D (ceea ce nu pot arăta, pentru că nu pot desena un con 4-D).

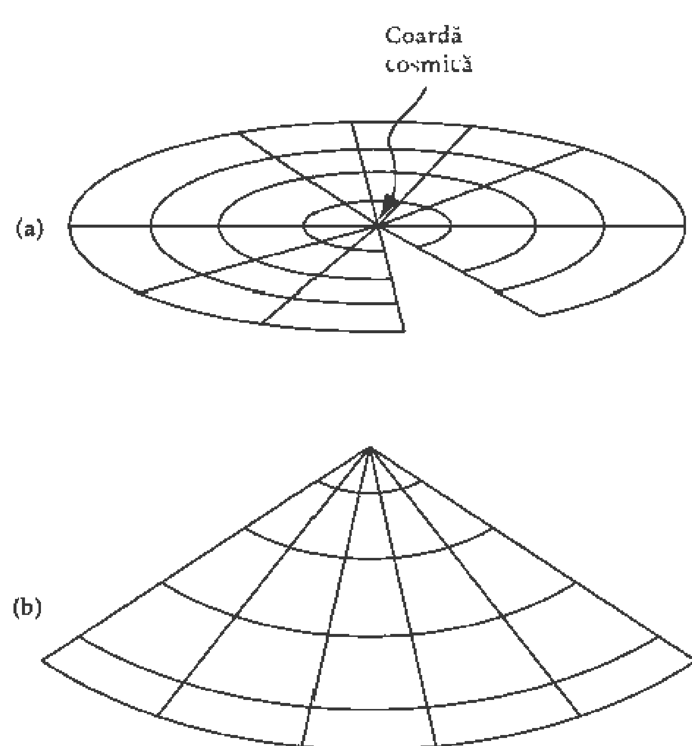


Figura 9.1 Pentru a reprezenta felul în care arată spațiul 3-D în apropierea unei corzi cosmice (o linie 1-D), am eliminat o dimensiune și am considerat spațiul 2-D din jurul unui punct 0-D. Dacă o pană de spațiu e îndepărtată ca în a), iar cele două margini sunt lipite ca în b), atunci spațiul va avea formă de con.

O variațiune pe tema corzii cosmice a fost propusă în 1991 de Richard Gott. El a reușit să elimine condiția de rotație pentru coarda cosmică, arătând în schimb că două corzi trecând una pe lângă alta cu viteză mare ar avea

același efect – o buclă temporală se formează în jurul celor două. Aici problema e că cele două corzi trebuie să fie paralele când trec una pe lângă alta, așa încât, chiar dacă există corzi cosmice, trebuie să sperăm ca două dintre ele să se întâlnească sub unghiul potrivit. Gott a arătat că nu trebuie să așteptăm ca două corzi infinit de lungi să treacă una pe lângă alta. Același efect s-ar obține dacă o singură coardă cosmică închisă, formând o buclă eliptică, nu circulară, ar colapsa în așa fel încât cele două porțiuni lungi s-ar apropia mult, fără să se ciocnească. Gott a subliniat totuși că apropierea a două porțiuni de coardă cosmică de lungimi finite ar duce la apariția unei găuri negre, iar orice buclă temporală care s-ar forma în jurul corzilor ar fi ascunsă lumii exterioare de orizontul evenimentelor – ceea ce înseamnă, desigur, că n-ar putea fi folosită.

Din păcate, ideea lui Gott de a obține o buclă temporală e și mai fantezistă decât celelalte idei propuse: pe lângă tot felul de cerințe nerealiste, presupune și ca masa totală a corzilor să fie „imaginară“.[150]

REȚETĂ PENTRU O MAȘINĂ A TIMPULUI CU GĂURI DE VIERME

Am vorbit până acum despre obținerea buclelor temporale prin deformarea spațiului-timp din jurul unei mase în rotație. Există și o altă cale

care nu implică orbitarea în jurul unui obiect masiv și dens, ci o gaură de vierme. Curând după ce Kip Thorne i-a arătat lui Carl Sagan cum ar putea fi construită o gaură de vierme traversabilă care să lege două regiuni îndepărtate ale spațiului printr-un tunel scurt, fizicienii și-au dat seama că gaura de vierme ar putea uni și două momente de timp diferite. În fond, gaura de vierme e creată în spațiul-timp 4-D, nu în spațiul propriu-zis 3-D. Un mod simplu de a vizualiza acest lucru este de a folosi modelul universului bloc. Figura 9.2 prezintă o gaură de vierme prin acest spațiu-timp 3-D, care leagă două momente de timp diferite. E important de observat că gaura de vierme nu se află de fapt în interiorul blocului, ci există într-un spațiu cu mai multe dimensiuni, în afara celor trei dimensiuni reprezentate. Din păcate, n-am la dispoziție mai multe dimensiuni, dar cel puțin vă puteți face o idee generală. Dacă pentru tine momentul „acum“ se întâmplă să fie la MOMENTUL ULTERIOR, călătoria prin gaura de vierme te duce în trecut. Reciproc, cineva al cărui „acum“ s-a aflat la MOMENTUL ANTERIOR ar folosi gaura de vierme pentru a călători în viitor.

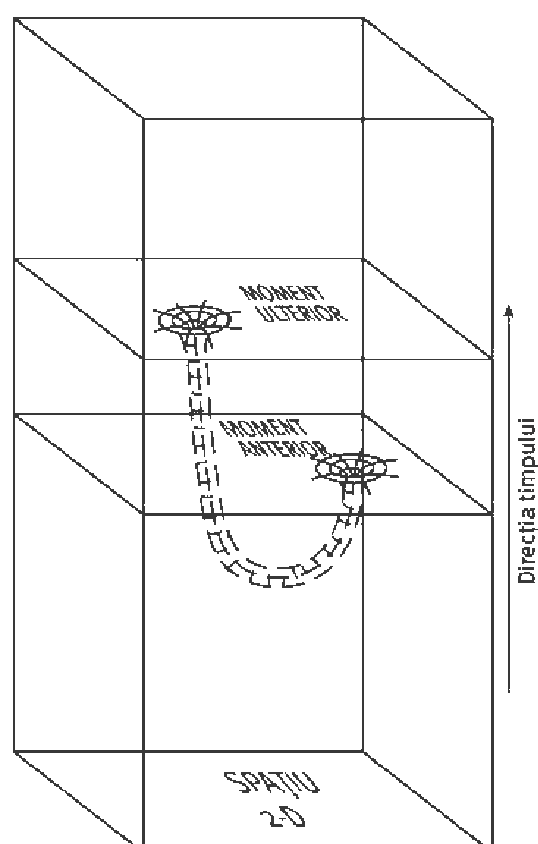


Figura 9.2 O gaură de vierme într-un univers bloc, care unește două momente de timp diferite.

Felul în care am desenat gaura de vierme în universul bloc sugerează că cele două guri ale ei se deschid în anumite secțiuni prin bloc. De aici ar rezulta că cineva al cărui „acum“ se află într-o secțiune undeva între cele două nu vede nici o gaură de vierme. De fapt însă, toate secțiunile care urmează după MOMENTUL ANTERIOR vor conține și ele propria lor gură a găurii de vierme, fiindcă sunt exact aceeași secțiune la momente ulterioare. Toate secțiunile de după MOMENTUL ULTERIOR vor conține așadar ambele guri ale găurii de vierme. Una va fi o legătură către trecut, cealaltă va fi o legătură către viitor.

Ceea ce face dificil de înțeles modelul universului bloc (dar e necesar pentru a vizualiza călătoria în timp) este faptul că nici unul din cele două momente de timp nu poate fi

numit adevăratul „acum“. Ambele pot fi numite „acum“, fiindcă timpul nu se mișcă în universul bloc, dar asta nu ne anulează senzația subiectivă că timpul curge. Așadar, pentru noi, care trăim în universul bloc, ambele secțiuni se vor deplasa în sus în același ritm, de-a lungul axei timpului, dar vor fi oameni ale căror momente prezent corespund fiecăruia din cele două momente de timp.

Kip Thorne și colegii săi au reușit chiar să demonstreze că o gaură de vierme care nu e o mașină a timpului – în sensul că, dacă ai traversa-o, ai ieși la un moment ulterior, timpul petrecut de tine în gaura de vierme fiind același ca timpul scurs în exterior – poate fi transformată într-o mașină a timpului. Ce înțeleg eu printr-o gaură de vierme care nu e o mașină a timpului poate fi înțeles din figura 9.2 dacă secțiunile MOMENT ANTERIOR și MOMENT ULTERIOR ar fi una și aceeași secțiune. Acum, dacă traversezi gaura de vierme, vei ieși în aceeași secțiune a timpului în care te-ai fi aflat dacă n-ai fi traversat gaura de vierme. Trucul constă în a te folosi de un efect din relativitatea specială cu care ne-am întâlnit deja, și care implică ideea de la baza paradoxului gemenilor.

Dați-mi voie mai întâi să expun planul pentru cel mai simplu mod de a construi o mașină a timpului (evident, presupunând că e posibilă):

Cum să construiești o mașină a timpului

• **Fă o gaură de vierme** (*expandând una din spuma cuantică sau creând una nouă, prin deformarea spațiului-timp*).

• **Stabilizează gaura de vierme** (*menținând-o deschisă cu materie exotică sau coardă cosmică*).

• **Încarcă electric una din gurile găurii de vierme** (*așa încât să poată fi deplasată cu un câmp electric*) **și du-o într-o rachetă**.

• **Creează o diferență de timp între guri** (*zburând la o viteză apropiată de cea a luminii cu una din guri*).

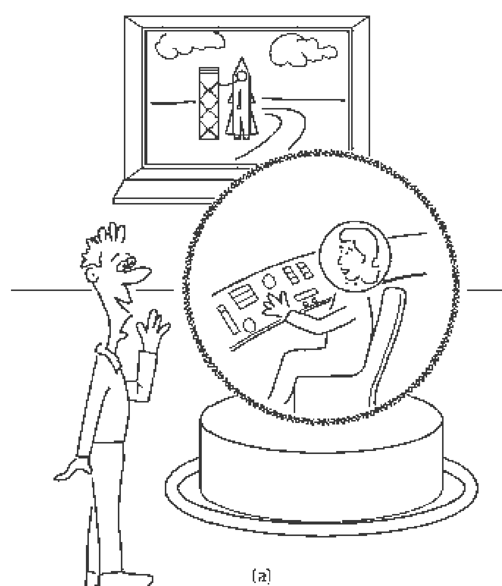
• **Transformă gaura de vierme într-o mașină a timpului** (*apropiind din nou cele două guri*).

Pașii 1 și 2 au fost discutați în capitolul precedent. Trebuie să repet însă că nu știm cum pot fi făcuți. De aceea, mulți autori care vorbesc despre mașini ale timpului cu găuri de vierme încep de regulă cu afirmația înșelătoare „Ia o gaură de vierme traversabilă“. Cum nu mai am nimic de adăugat, voi proceda la fel și voi presupune că avem deja o gaură de vierme care, pentru a vă fi pe plac, are guri suficient de largi ca oamenii să poată păși prin ele. Cele două guri pot fi inițial una lângă alta în laboratorul nostru. Pasul 3 permite ca una din guri să fie transportată din laborator la bordul unei rachete care așteaptă să fie lansată. Cât privește pașii 4 și 5, putem uita că gura găurii de vierme se află în rachetă. Nu trebuie decât ca racheta să zboare

un timp cu viteză apropiată de cea a luminii, iar efectul relativist al dilatării timpului se va ocupa de restul.

Mai țineți minte povestea despre paradoxul gemenilor? Când Alice se îndepărtează de Pământ în racheta ei și călătorește o vreme cu viteză mare, la întoarcerea pe Pământ constată că acolo a trecut mai mult timp decât s-ar fi așteptat. E mai tânără decât Bob, fratele ei geamăn, fiindcă ea a avansat mai repede în viitor. De data asta, Alice va lua cu ea una din gurile unei găuri de vierme, și va produce un decalaj temporal între cele două guri.

Următoarea prezentare a ceea ce s-ar întâmpla seamănă cu cea dată de Kip Thorne în cartea sa *Black Holes and Time Warps*, dar am introdus unele modificări. În figura 9.3a, Bob o privește pe Alice prin capătul din laborator al găurii de vierme. Ea pare să fie la vreun metru distanță, dar de fapt se află în racheta de pe rampa de lansare din cosmodrom, după cum se vede pe fereastra laboratorului. Figura 9.3b prezintă perspectiva lui Alice prin gura găurii de vierme îmbarcată pe rachetă.



(a)

Figura 9.3 (a) Bob o poate vedea pe Alice prin gaura de vierme, care oferă o scurtătură între cei doi, indiferent cât de mare e distanța care îi separă în spațiul 3-D. Ea se află de fapt în racheta ei, care se poate vedea pe fereastră.

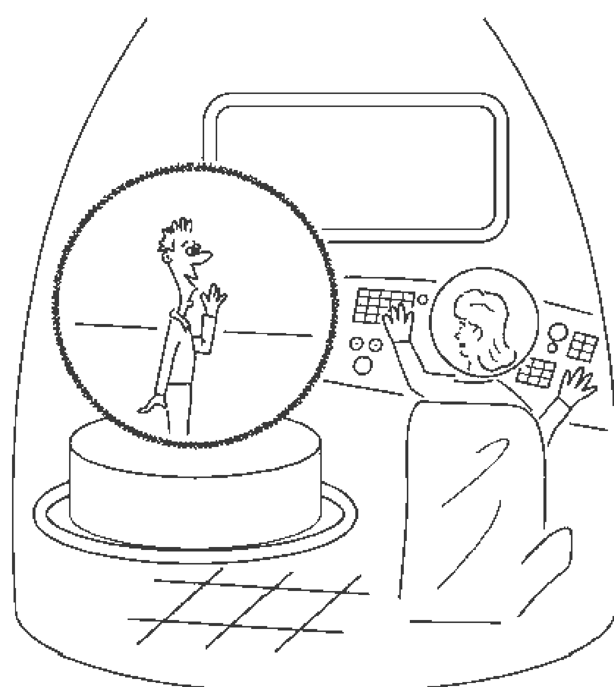


Figura 9.3 (b) Alice îl poate vedea pe Bob prin capătul găurii de vierme aflat în rachetă.

Alice și Bob cad de acord ca ea să pornească într-o călătorie în jurul sistemului solar zburând cu viteza de o sută de mii de kilometri pe secundă (adică o treime din viteza luminii) și să se întoarcă pe Pământ după exact două săptămâni. Să zicem că ea pleacă într-o zi de miercuri. Când Alice se îndepărtează de Pământ, distanța dintre ea și Bob prin gaura de vierme rămâne constantă (vezi figura 9.4), deși el poate vedea prin telescop cum racheta ei se îndepărtează de Pământ cu o treime din viteza luminii. Bob poate sta de vorbă cu ea, și poate chiar să-i ofere în fiecare dimineață o ceașcă de cafea caldă prin gaura de vierme. Ei vor număra

împreună zilele rămase. În tot cursul călătoriei, ceasurile lor vor indica același timp – ei se asigură că ceasurile lor rămân sincronizate prin gaura de vierme.

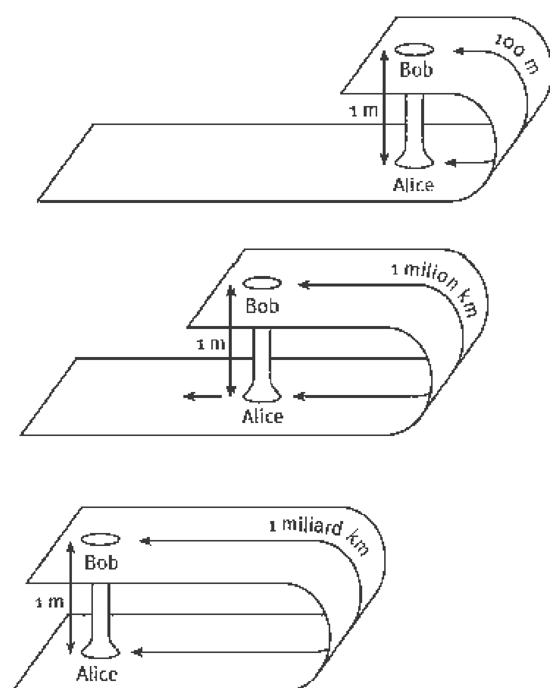


Figura 9.4 Cele două guri ale găurii de vierme pot fi la distanță oricât de mare una de alta în spațiul normal, dar ele rămân apropiate prin gaura de vierme.

Două săptămâni mai târziu, când Bob și Alice cad de acord că e miercuri, el își vede prin gaura de vierme sora care se apropie de sfârșitul călătoriei și se pregătește de aterizare. Bob se duce la cosmodrom s-o întâmpine, dar nu vede nici o rachetă. Uluit, aleargă la observatorul astronomic și privește prin telescop regiunea de pe cer de unde ar trebui să vină racheta. Puterea de rezoluție a telescopului este atât de mare, încât Bob reușește să repereze racheta lui Alice care tocmai a trecut de Neptun în drumul ei spre Pământ. Bob calculează că, la viteza cu care se deplasează, Alice va ajunge pe Pământ abia mâine!

Fiind om de știință – doar lucrează într-un laborator unde se studiază găurile de vierme –, Bob își dă imediat seama că exact la asta trebuia să se aștepte. Poate explica ce se întâmplă apelând la relativitatea specială. Aleargă înapoi în laborator pentru a vorbi cu sora lui. Privind prin gaura de vierme, o vede pe Alice încheind verificările la panoul de comandă și pregătindu-se să iasă din rachetă. O felicită prin gaura de vierme pentru aterizarea reușită, iar apoi îi spune că, de fapt, încă n-a aterizat!

„Cum adică n-am aterizat?“ spune ea. „Doar ai văzut că am aterizat. Sper că mă aștepți cu o ceașcă de cafea, materia aceea exotică din gaura de vierme strică gustul cafelei.“

„Ia stai puțin“, spune Bob începând să se enerveze. „Eu vorbesc serios. Cred că te-ai mutat în alt sistem de referință al timpului. E adevărat, te-am văzut prin gaura de vierme cum ai aterizat, dar acolo“ – arată în direcția cosmodromului care se vede pe fereastră – „n-ai ajuns, racheta ta nu e pe cosmodrom, te afli încă departe în sistemul solar, ai să ajungi abia mâine.“ Lui Alice nu-i vine să creadă. Vede că Bob e serios, dar din perspectiva ei nu e nimic ilogic. Încearcă din nou: „Uite, am căzut amândoi de acord că e miercuri. De fapt, am numărat zilele împreună, iar ceasurile noastre sunt încă sincronizate. Trebuie deci să fim în același sistem de referință temporal. Și, crede-mă, chiar am aterizat.“

Dar Bob nu mai ascultă, a căzut pe gânduri. Cu câteva minute în urmă era convins că a înțeles de ce, la întoarcerea ei din călătorii spațiale, Alice spunea mereu că a petrecut un timp mai scurt decât timpul scurs pe Pământ. Era vorba de relativitatea specială. Dar blestemata asta de gaură de vierme trebuie să fi încurcat lucrurile. Pentru o clipă, i se pare că înțelege, apoi e din nou derutat.

„Alice, hai să spunem că n-am fi avut gaura de vierme. N-aș fi știut că ai aterizat. De fapt, pentru mine, adică după timpul de pe Pământ, călătoria ta ar fi trebuit să dureze cincisprezece zile, și n-ar fi trebuit să ne întâlnim decât mâine. Pentru tine însă, după timpul din rachetă, călătoria ar dura paisprezece zile. Pentru tine s-ar scurge mai puțin timp, din cauza vitezei mari a rachetei. Așa că aterizezi miercuri, conform timpului din rachetă; dar e joi, conform timpului de pe Pământ. Te-ai deplasat cu o zi în viitor.“ Se oprește ca să se asigure că Alice îl urmărește.

„Continuă“, spune ea tulburată.

„Ei bine, nu contează că timpii noștri sunt sincronizați prin gaura de vierme. În călătoria ta, ai tras mereu gaura de vierme în viitorul timpului de pe Pământ. Știu că pentru tine e miercuri, așa e în interiorul rachetei. Dar acum că ai aterizat, mi-e teamă că trebuie să te supui timpului de pe Pământ.“

„Vorbești ca o stewardesă“, spune ea râzând. „Vă mulțumim că ați zburat cu compania noastră aeriană și vă rugăm să vă potriviți ceasurile după timpul local, în care e miercuri.“

„Păi, da. Pământul pe care ai aterizat e în ziua mea de mâine.“

„Prefer să cred că mă aflu în prezent, dacă asta nu te deranjează, frățioare.“

„Bine. Dacă insiști că te afli în prezent, atunci spune-mi ce vezi când privești prin gaura de vierme spre trecutul tău din urmă cu o zi. Vezi ceva care, pentru tine, s-a petrecut ieri, pe când erai încă în drumul de întoarcere. La fel însă pot spune și eu că mă aflu în prezent și privesc prin gaura de vierme la ce se va întâmpla mâine. Cel puțin știu că vei ateriza în siguranță.“

„Și ce înseamnă asta?“ întreabă Alice.

„Înseamnă că gaura de vierme a fost transformată într-o mașină a timpului care leagă două momente despărțite printr-o zi.“

Alice și Bob pot folosi acum această mașină a timpului cu gaură de vierme, care funcționează în dublu sens, de câte ori vor. El o poate traversa pentru a se întâlni cu sora lui în ziua de joi, iar ea se poate întâlni cu el miercuri. Pot cumpăra ziarul de joi pentru a vedea ce numere au fost extrase la loteria din seara precedentă, se pot întoarce în ziua de miercuri și cumpăra biletele câștigătoare.

Desigur, Alice poate să vină la Bob miercuri și pot aștepta până joi pentru a se duce amândoi la cosmodrom să vadă cum aterizează racheta lui Alice! Alice cea din rachetă va sta de vorbă în acel moment cu Bob cel de miercuri, iar în cele din urmă va traversa gaura de vierme pentru a se întâlni cu fratele ei și a deveni acea Alice care așteaptă afară pe cosmodrom. Pentru un timp deci, vor fi două Alice. Dacă Alice ar privi prin hubloul rachetei înainte să intre în gaura de vierme, s-ar vedea pe ea însăși alături de un alt Bob.

În această poveste am evitat în mod deliberat toate paradoxurile călătoriei în timp, dar ele sunt foarte ușor de găsit. De pildă, ce s-ar întâmpla dacă Alice și Bob care stau pe cosmodrom și privesc cum aterizează racheta în ziua de joi s-ar urca în rachetă (prin exteriorul ei, nu prin gaura de vierme) și ar încerca s-o oprească pe Alice cea din rachetă să intre în gaura de vierme? Nu numai că n-ar reuși – fiindcă ea într-adevăr intră în gaura de vierme –, dar nici măcar nu pot lua legătura cu Alice cea din rachetă, pentru că Alice cea din afară nu ține minte să se fi întâlnit cu ea însăși pe când era Alice cea din rachetă, înainte să traverseze gaura de vierme cu o zi în urmă!

Avem aici de-a face cu paradoxul „nu-i de ales“, care își scoate capul hidos, și trebuie să apelăm la una din cele două soluții de a-l rezolva despre care am vorbit în capitolul 8:

a) Dacă Alice cea din afară nu poate ține minte că s-a văzut pe ea însăși pe când era în rachetă, i se va interzice cumva să interacționeze în orice fel cu Alice cea din rachetă. Fizicienii numesc un asemenea scenariu soluție inconsistentă.

b) Universul se separă în două în momentul în care gaura de vierme devine o mașină a timpului.

Vă e probabil greu să digerați situația absurdă de mai sus. Trebuie totuși să subliniez că povestea mea nu încalcă nici o lege a fizicii. Care e așadar probabilitatea ca un asemenea scenariu să devină realitate în viitorul îndepărtat?

După cum am văzut, pașii 1 și 2 din planul de construcție a unei mașini a timpului s-ar putea să nu fie niciodată înfăptuiți. Dacă ei sunt totuși depășiți și putem construi o gaură de vierme traversabilă stabilă, mai există și alte obstacole?

Pasul 4, care presupune inducerea unui decalaj temporal între cele două guri ale găurii de vierme, e problematic numai dacă nu credeți că va fi vreodată posibil să construim o rachetă care să se deplaseze cu viteze apropiate de cea a luminii. Dar aceasta nu e singura modalitate de a induce un decalaj temporal. Dacă am avea acces la un câmp gravitațional suficient de intens, am putea folosi efectul de dilatare a timpului din relativitatea generală pentru a încetini timpul la un capăt al găurii de vierme.

Am putea face asta luând o gură a găurii de vierme într-o călătorie în jurul unei găuri negre. Desigur, în acest caz nu e nevoie să urmăm o buclă temporală, fiindcă nu cerem ca gura găurii de vierme care orbitează să călătorească înapoi în timp. Nu trebuie decât ca timpul să fie încetinit în raport cu cealaltă gură aflată departe de gaura neagră.

DIFICULTĂȚI INSURMONTABILE?

Au fost aduse mai multe obiecții la planul mașinii timpului cu gaură de vierme. Toate s-au bazat pe calcule serioase, care au arătat că unul sau altul dintre pași e un obstacol care nu va fi niciodată depășit. Cel mai grav obstacol este că, presupunând că am putea construi o gaură de vierme traversabilă și am putea induce un decalaj temporal, ultimul pas de a aduce una lângă alta cele două guri – despre care ne-am închipui că e cel mai ușor – ar distruge de fapt gaura de vierme. Este de așteptat – dar încă nu e sigur – ca de îndată ce gaura de vierme devine o mașină a timpului, lumina care a călătorit prin ea să poată ieși prin spațiul normal la gura în care a intrat *înainte* să fi intrat. Va intra atunci împreună cu versiunea ei inițială, dublându-și astfel energia. Dar dacă o cantitate dublă de radiație intră în gaura de vierme și poate ieși prin gura pe care a intrat înainte să intre, atunci energia va fi de patru ori mai mare, și așa mai

departe. De fapt, calculele arată că în momentul în care cele două guri (cu sistemele lor de referință temporale diferite) sunt aduse suficient de aproape una de alta pentru ca puțin din lumina care părăsește gura de ieșire să se întoarcă prin gura de intrare înainte să intre în ea, se va acumula instantaneu o cantitate infinită de lumină în gaura de vierme, iar fie gâtul găurii de vierme va colapsa, fie cele două guri vor exploda. Această lumină (sau radiație electromagnetică) va fi întotdeauna o problemă, fiindcă e produsă de vidul însuși, reprezintă ceea ce numim fluctuațiile vidului.

Tom Roman, unul dintre specialiștii în găuri de vierme, a arătat că o mașină a timpului cu gaură de vierme poate fi construită și fără a urma pasul 5 (fără a apropia cele două guri). În schimb, odată indus un decalaj temporal între cele două guri și câtă vreme ele se află la mare distanță una de alta, pot fi plasate lângă fiecare dintre acestea câte o gură a unei a doua găuri de vierme, între care nu e nevoie să existe un decalaj temporal, după cum se vede în figura 9.5. Poți traversa prima gaură de vierme, iar apoi s-o folosești pe a doua ca scurtătură înapoi în punctul de pornire, întorcându-te înainte să fi plecat. Fluctuațiile vidului care se acumulează și distrug o gaură de vierme atunci când gurile ei se apropie sunt acum controlate. Deocamdată, toate calculele arată însă că ecuațiile relativității generale dau în continuare răspunsuri absurde

de îndată ce se formează o buclă temporală din această așa-numită configurație Roman a găurilor de vierme. Matt Visser propune dispunerea unei serii de găuri de vierme într-un inel. Fiecare gaură de vierme ar avea un mic decalaj temporal, dar nu suficient pentru ca ea însăși să devină o mașină a timpului, fiindcă, chiar dacă am traversa-o, distanța dintre cele două guri în spațiul normal ar fi atât de mare încât n-am putea ajunge de la gura de ieșire la gura de intrare înainte să intrăm. Combinația tuturor găurilor de vierme, așa cum e prezentată în figura 9.6, ar putea însă funcționa ca mașină a timpului.

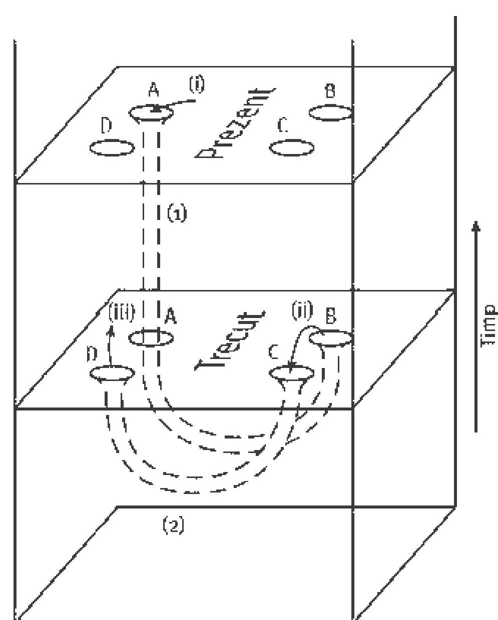


Figura 9.5 O mașină a timpului Roman, folosind două găuri de vierme. Inducând un decalaj temporal între gurile A și B ale găurii 1, nu e nevoie să riști distrugerea găurii de vierme apropiind apoi gurile. Folosești în schimb gaura de vierme 2 pentru a te întoarce în punctul de pornire. Pasul I: Intră prin A. Pasul II: Ieși prin B și intră prin C, care e în apropiere. Pasul III: Ieși prin D, care e aproape de punctul de pornire A, dar se află în trecutul lui.

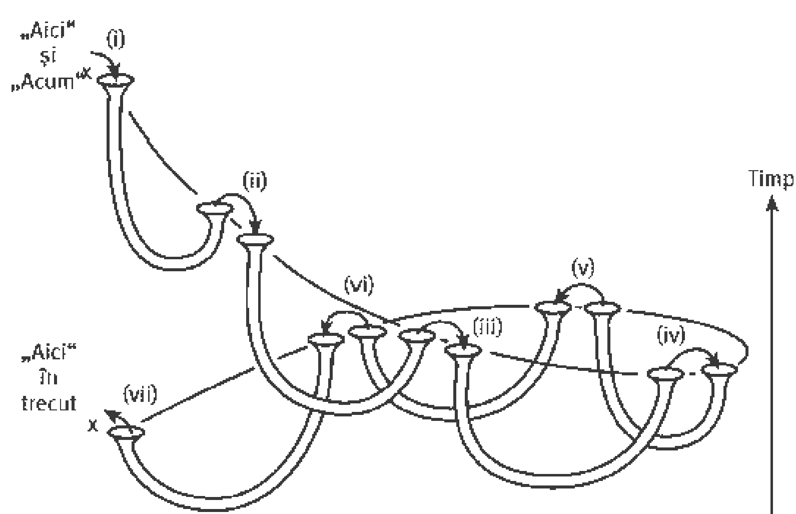


Figura 9.6 O mașină a timpului Roman inelară care folosește mai multe găuri de vierme, fiecare având un mic decalaj temporal între gurile ei. Decalajele temporale se acumulează în vreme ce găurile de vierme te duc înapoi în punctul de unde ai pornit, dar în trecut.

Rezultate recente arată că însăși menținerea deschisă a unei găuri de vierme traversabile s-ar lovi de un obstacol insurmontabil. Conform calculelor mai multor cercetători, e imposibil să obținem vreodată suficientă materie exotică pentru a menține deschisă orice gaură de vierme mai mare decât una cuantică.

Așadar, ce să credem? Vor putea fi vreodată construite găuri de vierme? Vor putea ele alcătui mașini ale timpului? Pot fi formate în univers bucle temporale? Sau, mai simplu spus: *Va fi posibilă vreodată călătoria în trecut?* Punând cap la cap tot ce am spus în ultimele capitole, nu cunoaștem cu certitudine răspunsul. Lăsând la o parte dificultățile evidente legate de menținerea deschisă a unei găuri de vierme și transportarea ei, există un obstacol teoretic fundamental.

Mecanica cuantică descrie fenomene care se petrec la scară foarte mică, în vreme ce în cadrul relativității generale vorbim de regulă despre distanțe imense, mase uriașe și forțe titanice. Descrierea stelelor, a găurilor negre, a galaxiilor, ba chiar și a întregului univers se bazează pe ecuațiile relativității generale, care arată cum influențează gravitația spațiul și timpul. Toate acestea sunt foarte îndepărtate de lumea cuantică microscopică. Există totuși unele procese, cum e radiația Hawking emisă de suprafața găurilor negre, care pot fi înțelese doar dacă în explicație e încorporată și mecanica cuantică. Folosirea cu succes atât a relativității generale, cât și a mecanicii cuantice pentru explicarea unui fenomen e însă un lucru rar. Ea se obține doar introducând artificial și în mod aproximativ regulile mecanicii cuantice în relativitatea generală. În fond, relativitatea generală și mecanica cuantică sunt incompatibile. O simbioză între aceste două descrieri ale realități va fi obținută doar dacă ele pot fi contopite într-o schemă unificată: o teorie atotcuprinzătoare a *gravitației cuantice*.

Până să găsim o asemenea teorie nu vom putea ști dacă într-adevăr conjectura protecției cronologice propusă de Hawking,[51] care ne interzice călătoria în timp, este o lege a naturii. Închei acest capitol citându-l pe Frank Tipler, fizicianul care a publicat primul articol serios despre felul în care ar putea fi construită o

mașină a timpului. Trei ani mai târziu, în 1977, el a publicat un articol mai lung în care examina probabilitatea ca mașina timpului cu cilindru în rotație să fie vreodată realizată. În încheierea articolului, îl cita pe astronomul Simon Newcomb care susținuse la sfârșitul secolului XIX că e imposibil că construiești mașini zburătoare mai grele decât aerul. Tipler simțea că asta se aplică și mașinilor timpului:

> Demonstrația că nici o combinație posibilă a substanțelor cunoscute, tipurilor cunoscute de mecanisme și tipurilor cunoscute de forțe nu poate alcătui o mașină [cu care oamenii să călătorească în timp] i se pare autorului la fel de riguroasă ca demonstrația oricărui adevăr din fizică.

Doar câțiva ani mai târziu, Orville și Wilbur Wright au dovedit că Newcomb se înșela în privința mașinilor zburătoare mai grele decât aerul.

---

48. În septembrie 2015 au fost detectate pentru prima oară, prin metode interferometrice, unde gravitaționale. Semnalul provenea de la contopirea a două stele neutronice aflate la 1,4 miliarde de ani-lumină. De atunci s-au adunat noi observații ale undelor gravitaționale. (*N. t.*)

49. Speculațiile teoretice scapă de sub control când începem să vorbim despre aranjarea stelelor neutronice, dar sunt distractive. (*N. a.*)

50. E un lucru și mai rău decât să ai o masă negativă, ceea ce e oricum absurd. „Imaginar“ desemnează o proprietate matematică implicând rădăcina pătrată a unui număr negativ. Dacă n-ați întâlnit așa ceva până acum, iată o scurtă explicație. Știți că pătratul unui număr pozitiv este un număr pozitiv, iar pătratul unui număr negativ este tot un număr pozitiv (fiindcă – × – = +). Dar un număr care înmulțit cu el dă un număr negativ se numește imaginar, pentru că nu e la fel ca numerele normale (reale), și are propriile lui reguli. Asemenea numere sunt utile în multe domenii ale fizicii și ingineriei. (*N. a.*)

51. Conjectura protecției cronologice a fost lansată de Hawking într-un articol din 1992, unde se folosește de metafora unei „Agenții de Protecție Cronologică“ ce ne ferește de paradoxurile călătoriei în timp și face ca universul să fie sigur pentru istorici (odată petrecut, un fapt nu mai poate fi schimbat, istoria rămâne stabilă). Conform conjecturii, călătoria în timp e permisă doar la scară microscopică. (*N. t.*)

10
Ce știm?

Cred că și dacă aș fi pus o întrebare mai simplă – de pildă, „Ce este masa? Sau accelerația?“, care sunt echivalentul științific al lui „Știi să citești?“ – nu mai mult de unul din zece oameni cu educație înaltă ar fi simțit că vorbesc pe limba lui. Așadar, mărețul edificiu al fizicii moderne continuă să se înalțe, iar majoritatea celor mai deștepți oameni din lumea occidentală îl înțeleg la fel de bine pe cât l-ar fi înțeles strămoșii lor din neolitic.
— C.P. SNOW, *The Two Cultures*

Poeții spun că știința le răpește stelelor frumusețea – sunt doar globuri de atomi de gaz. Nimic nu e „doar“. Și eu mă uit la stele într-o noapte senină, și eu le simt. Dar văd oare mai puțin, sau mai mult? Vastitatea cerului îmi stimulează imaginația – vrăjit de

acest carusel, micul meu ochi poate capta lumină veche de un milion de ani, o structură uriașă din care fac și eu parte. […] Ce e structura, sau semnificația, sau cauza? Misterul n-are de suferit dacă aflăm ceva mai mult despre el. Căci adevărul e incomparabil mai fascinant decât și-ar fi închipuit orice artist din trecut. De ce nu vorbesc despre asta poeții din zilele noastre? — RICHARD FEYNMAN, *The Feynman Lectures on Physics*

În acest capitol final vreau să trec în revistă ce credem că știm despre univers și să reflectez la felul în care am putea progresa.

MAMA TUTUROR TEORIILOR

Teoria geometrică a gravitației (relativitatea generală) a lui Einstein și mecanica cuantică au fost cele mai mari realizări ale fizicii secolului XX, înălțându-se peste tot ce am aflat despre lumea noastră fizică până la apariția lor și de atunci încoace. Ele au fost decisive în descrierea aspectelor fundamentale ale realității. După cum am menționat în capitolul precedent, problema este că ele *nu* sunt reciproc compatibile: se întemeiază pe tipuri diferite de matematică și au

la bază alte reguli și principii. Relativitatea generală nu mai funcționează în cazul singularităților și al buclelor temporale închise, iar mecanica cuantică nu oferă cadrul teoretic pentru a descrie forța gravitației. Așadar, cât de aproape suntem de o teorie a gravitației cuantice, o „teorie universală“ care va conține în structura ei matematică regulile și principiile relativității și ale mecanicii cuantice? Ei bine, vom vedea că la începutul secolului XXI se întrezărește deja o asemenea teorie.

Einstein a încheiat elaborarea relativității generale în 1915, iar apoi a jucat un rol mai curând minor în dezvoltarea teoriei cuantice, de care s-au ocupat majoritatea celorlalți mari fizicieni ai lumii în următorul deceniu. Dar odată lămurite ideile și matematica subiacentă, ce mai rămânea de făcut? Cineva cu geniul lui Einstein nu se putea mulțumi să se ocupe de detalii. Așa încât, în ultimii treizeci de ani de viață, el a încercat, fără succes, să construiască ceea ce se numește o *teorie unificată a câmpului*, o teorie care ar combina relativitatea generală nu cu mecanica cuantică, ci cu teoria luminii (mai precis, cu electromagnetismul). Einstein a încercat mai multe abordări, dar toate au dat greș. Se spune că, după ce a murit, pe biroul lui au fost găsite schițe ale teoriei sale neduse la capăt.

Cea mai elegantă matematic, dar și cea mai derutantă candidată pentru o teorie unificată la

care Einstein a lucrat a fost propusă de doi matematicieni: polonezul Theodor Kaluza și suedezul Oskar Klein. Kaluza a pus bazele ei, iar în 1919 i-a trimis lui Einstein un articol în care propunea un mod de a explica radiația electromagnetică în cadrul relativității generale (care, după cum ați aflat deja, se referă la influența masei și energiei asupra spațiului-timp 4-D). Kaluza a arătat că, pentru atingerea obiectivului, ecuațiile trebuiau scrise nu în spațiul-timp 4-D, ci într-un spațiu-timp 5-D care includea o dimensiune spațială suplimentară. Deși pare arbitrar și departe de tot ce am considera că e realist, din punct de vedere matematic e destul de simplu, căci putem adăuga câte dimensiuni vrem. Dar era reală această a patra dimensiune a spațiului pe care o propunea Kaluza? Evident, n-o percepem. Incluzând însă această dimensiune suplimentară, Kaluza a găsit că lumina, în loc să fie o oscilație electromagnetică prin spațiul 3-D, era de fapt o vibrație în a cincea dimensiune. Nu vă faceți griji, nici eu nu înțeleg prea bine ce vrea să însemne asta. Tot ce putem spune este că astfel se încearcă explicarea originii luminii la un nivel fundamental, geometric, așa cum Einstein descrisese gravitația ca pe o curbură a spațiului-timp 4-D. În plus, a cincea dimensiune nu se extinde în linie dreaptă, ca celelalte trei dimensiuni spațiale, ci e „încolăcită“, închisă în ea însăși. Un mod simplu de a vizualiza ce

înseamnă asta e să ne gândim la Lumea 2-D. Să ne închipuim spațiul 2-D încolăcit așa încât să formeze un cilindru. Una din dimensiuni – cea orientată pe lungime – rămâne neschimbată, iar cealaltă e înfășurată într-un cerc.

Desigur, problema era că, în ciuda eleganței matematice a teoriei lui Kaluza, nu exista nici o dovadă experimentală că această a cincea dimensiune există cu adevărat. Einstein însuși, deși impresionat de felul în care Kaluza unificase lumina și gravitația, nu era dispus să creadă în realitatea unei a cincea dimensiuni. În fond, la început ezitase să ia în considerare ideea de spațiu-timp 4-D, însă măcar cele patru dimensiuni (una a timpului și trei ale spațiului) erau reale. Principalul motiv pentru scepticismul lui Einstein și al altora se lega de întrebarea „De ce nu vedem această dimensiune suplimentară?". Răspunsul a fost dat în 1926, când Oskar Klein a lansat ipoteza că a cincea dimensiune e încolăcită într-un cerc de miliarde de ori mai mic decât un atom. Să ne întoarcem la dimensiunile din Lumea 2-D înfășurată pentru a forma suprafața unui cilindru. Klein a spus că cilindrul ar fi atât de subțire, încât ar arăta ca o linie. Adică Lumea 2-D ar părea unidimensională, iar noi am spune că a doua dimensiune e ascunsă. Mi-e teamă că nu vă pot da un exemplu în mai multe dimensiuni, pentru că, așa cum am văzut în capitolul 2, avem nevoie de a treia dimensiune a noastră ca să

avem în ce să curbăm Lumea 2-D. Așa cum vedeți, v-ați făcut iluzii dacă v-ați închipuit că am scăpat de toate durerile de cap provocate de aceste dimensiuni.

După multe decenii petrecute în sihăstrie, teoria Kaluza-Klein a revenit la modă la sfârșitul anilor 1970, când majoritatea fizicienilor ambițioși se aflau în căutarea teoriei unificate. Nu era însă suficient să unifici gravitația și lumina, fiindcă se știa că toate fenomenele cunoscute din natură pot fi descrise la nivel fundamental prin patru forțe. Forța gravitațională e una dintre ele, alta e forța electromagnetică. Aceasta din urmă este forța de atracție dintre sarcinile electrice care mențin electronii încărcați negativ legați de nucleul încărcat pozitiv. Este de asemenea forța cu care magneții se atrag între ei și atrag anumite metale. Trebuie să subliniez că deosebirea dintre forța electrică și cea magnetică e doar aparentă. În secolul XIX, Michael Faraday arătase că ele sunt intim legate și își au originea în aceeași forță electromagnetică. Aproape toate fenomenele pe care le vedem în jurul nostru se datorează în ultimă instanță uneia din aceste două forțe: gravitație și electromagnetism. Știm acum că mai există alte două forțe care acționează numai la scara minusculă a nucleelor atomice, dar sunt la fel de importante ca primele două în ce privește legile fundamentale.

Așadar, teoria ultimă în căutarea căreia se aflau fizicienii la sfârșitul anilor 1970 trebuia să unească gravitația nu numai cu electromagnetismul, ca în teoria Kaluza-Klein, ci și cu cele două forțe nucleare. O asemenea teorie ar fi numită „teoria a tot ce există“ sau „teoria universală“, fiindcă ar arăta că toate cele patru forțe din natură sunt aspecte ale unei singure „superforțe“. Teoria Kaluza-Klein a revenit la modă datorită speranței de a unifica forțele prin includerea în ecuații a unor dimensiuni suplimentare ale spațiului. Cum însă avem de-a face cu patru forțe, nu cu două, ar fi nevoie de mai multe dimensiuni suplimentare, nu doar de una singură. Pe la mijlocul anilor 1980 a apărut un candidat pentru teoria universală numit *teoria supercozilor* (sau, mai simplu, *teoria corzilor* – pentru că acel „super“ se leagă de o proprietate matematică numită supersimetrie) care afirma că trăim într-un univers zece-dimensional.[52] La fel ca în teoria Kaluza-Klein, toate cele șase dimensiuni spațiale suplimentare ar fi încolăcite la o scară infimă, și s-ar putea să nu le detectăm niciodată, rămânând perceptibile doar cele patru dimensiuni ale spațiului-timp. Numele teoriei corzilor a fost dat de faptul că presupunea că toate particulele elementare sunt corzi minuscule care vibrează în zece dimensiuni. Aceste corzi ar fi mult mai mici decât scara de lungimi sondată în mod curent în fizica

particulelor, pentru că lungimea unei corzi depinde de energia ei, care e echivalentă cu masa particulei pe care o reprezintă, o masă minusculă. Toate acestea pot părea fantasmagorice, dar se pare că pot conduce la unificarea relativității generale cu mecanica cuantică, legând forța gravitațională de celelalte trei forțe fundamentale, ceea ce ar reprezenta visul de aur al fizicii.[53]

Prin urmare, dacă teoria corzilor e teoria ultimă a gravitației cuantice, s-ar încheia oare căutările? Și, mai important pentru subiectul cărții de față, ne-ar spune oare ecuațiile ei dacă e sau nu permisă călătoria în timp? Mi-e teamă că e prea devreme ca să dăm un răspuns. Problema este că teoria e prea complexă pentru a fi înțeleasă pe deplin. Progresul ei necesită dezvoltarea unui întreg nou domeniu al matematicii. De pildă, nu știm încă ce mărime sau ce formă au dimensiunile suplimentare ascunse; din diferite versiuni ale teoriei rezultau diverse forme.

Pe la începutul anilor 1990, au apărut mai multe versiuni ale teoriei corzilor, și nimeni nu știa care era cea corectă, sau dacă într-adevăr exista o teorie unică. Apoi, în 1995, fizicianul care fusese numit „cel mai inteligent om din lume“ a găsit răspunsul. Numele lui este Edward Witten și lucrează la Institutul pentru Studii Avansate de la Princeton (acolo unde Einstein și-a petrecut ultimii ani de viață).

Împreună cu Paul Townsend de la Cambridge, Witten crede că a descoperit de ce există atâtea versiuni ale teoriei corzilor. În împrejurările date, prețul plătit e relativ mic. Witten cere încă o dimensiune! Cu unsprezece dimensiuni în loc de zece, multe dintre problemele teoriei supercorzilor dispar. Minusculele corzi sunt înlocuite de foi numite membrane, iar teoria lui Witten și Townsend se numește *teoria membranelor* sau teoria M. Adesea însă se consideră că „M“ vine de la „magie“, „mister“ sau chiar „mamă“, fiindcă aceasta ar fi într-adevăr mama tuturor teoriilor.

Dar dacă ar fi descoperite și alte versiuni ale teoriei M? Poate că adăugarea unei a douăzecea dimensiuni ar rezolva totul. Pentru siguranță, de ce n-am adăuga un număr oarecare de dimensiuni? Ei bine, se dovedește că nu-i posibil. Există o proprietate matematică specială legată de cele zece dimensiuni ale teoriei supercorzilor și cele unsprezece dimensiuni ale teoriei M.

Fizicienii fac eforturi de a înțelege semnificația teoriei M, dar cred că vor trece decenii până când magia și misterul ei să fie dezvăluite. Desigur, principala întrebare este de ce și cum au fost încolăcite la o scară atât de mică dimensiunile suplimentare, rămânând doar cele patru dimensiuni pe care le percepem. Credem acum că asta s-a întâmplat la momentul big bang-ului, de unde rezultă că ar fi existat

ceva *înainte* de big bang. Poate că cele trei dimensiuni ale spațiului și cea a timpului, cunoscute nouă, au făcut parte dintr-un univers mult mai vast cu zece sau unsprezece dimensiuni, în care toate forțele din natură erau unificate într-una singură. Big bang-ul a făcut apoi ca șase sau șapte dimensiuni ale spațiului să fie comprimate până la o scară de lungimi la care nu vom avea poate niciodată acces.

Ideea că există altceva dincolo de universul nostru e tot mai răspândită. În sens general, a căpătat numele de *teoria multiversului*, dar au apărut mai multe versiuni ale ei. Desigur, toate au un caracter ipotetic, însă dacă îl întrebi pe un cosmolog despre multivers, sunt toate șansele să fie adeptul uneia dintre versiuni. Pentru unii, noțiunea se referă la realități multiple, universuri paralele cu al nostru, iar tot ce se poate întâmpla chiar se întâmplă într-unul dintre ele. Pentru alții, este spațiul cu mai multe dimensiuni în care universul nostru a fost creat, și acum plutește ca o bulă printre multe altele.

SFÂRȘITUL FIZICII TEORETICE

Din cele discutate mai sus v-ați putea închipui că se apropie sfârșitul fizicii teoretice. Poate că teoria M va răspunde la toate întrebările noastre, inclusiv la întrebări despre care credem că sunt dincolo de domeniul științei. Poate că nouă, muritorilor de rând, nu ne rămâne decât să stăm

și să așteptăm ca peste câțiva ani Witten și colegii lui să lămurească detaliile teoriei M. Atunci, întreaga fizică fundamentală ar fi cunoscută. Eu unul nu sunt de acord. În parte, fiindcă nu sunt expert în teoria supercorzilor sau în teoria M, deci nu împărtășesc entuziasmul celor care lucrează în aceste domenii. Scepticismul meu are însă și o altă cauză.

Deși mulți fizicieni cred cu tărie că avem deja o teorie cuantică a gravitației sub forma corzilor multidimensionale sau a teoriei M, alții sunt mai puțin convinși. Ei fac comparația cu fizica de la sfârșitul secolului XIX, când se credea că toate legile naturii fuseseră dezvăluite și înțelese. A venit apoi descoperirea razelor X și a radioactivității, Max Planck a lansat ideea că energia e compusă din porții discrete, sau cuante, iar Einstein a răsturnat perspectiva newtoniană asupra spațiului și timpului. La sfârșitul secolului XIX nici un fizician n-ar fi putut anticipa ce avea să se întâmple în următorul sfert de secol. Așadar, de ce am fi așa încrezători astăzi? Istoricii științei arată că oamenii de știință aveau pe atunci motive mai întemeiate decât au azi să creadă că sfârșitul științei e aproape. Unii dintre marii fizicieni ai lumii, cum sunt Roger Penrose și David Deutsch, sunt convinși că, înainte ca relativitatea și mecanica cuantică să fie unificate

într-o teorie a gravitației cuantice, una din ele sau chiar ambele ar trebui să sufere transformări importante.

Unele idei din fizică rezistă la testul timpului și evoluează încet, pe măsură ce se adună dovezile experimentale în favoarea lor. Treptat, le înțelegem mai bine și crește încrederea noastră că sunt o descriere corectă a universului fizic. Alte idei apar brusc în scenă, pentru că reprezintă efortul individual al unui geniu sau un rezultat experimental surprinzător. Dar multe idei sunt aruncate la gunoi când cad la testul unei analize mai atente.

Câteva teorii de succes produc o revoluție în perspectiva noastră asupra lumii – ceea ce se numește schimbare de paradigmă. A fost cazul relativității, când Einstein a arătat că nu era nevoie de eterul prin care să se propage undele de lumină. Asta a condus imediat la concluzia că un fascicul de lumină călătorește cu aceeași viteză indiferent dacă ne apropiem sau ne îndepărtăm de sursa de lumină. De unde a rezultat inevitabil că timpul se scurge diferit pentru observatori diferiți.

Cât privește mecanica cuantică, puterea ei de predicție nu poate fi pusă la îndoială, de un secol stă la baza unei mari părți din știința modernă. Desigur, oricine a aflat câte ceva despre mecanica cuantică va recunoaște că lumea microscopică i se pare extrem de bizară. Obișnuim să spunem că formalismul matematic

e corect, dar *semnificația* ecuațiilor nu e bine înțeleasă, iar aici apare o problemă filozofică, nu fizică. Astăzi, majoritatea fizicienilor cred că, deși există o mulțime de interpretări ale mecanicii cuantice, toate sunt valabile, iar preferința pentru o interpretare sau alta e doar o chestiune de gust. Nu contează dacă adopți interpretarea de la Copenhaga, în care nimic nu există până când nu e observat, interpretarea lumilor multiple, în care universul se scindează într-un număr infinit de cópii, interpretarea lui Bohm, în care semnalele călătoresc mai repede decât lumina, sau chiar mai recenta interpretare tranzacțională, în care semnalele călătoresc înapoi în timp. Încă n-a fost conceput un experiment care să facă vreo distincție între aceste perspective concurente. Singurul lucru de care putem fi siguri este că mecanica cuantică n-are o explicație simplă.

După părerea mea, a spune că semnificația ecuațiilor care descriu realitatea la nivel fundamental nu-i importantă și că nu trebuie să ne preocupe decât numerele este doar un mod de a te eschiva. În ultimele decenii, m-am convins, împreună cu tot mai mulți fizicieni, că nu toate interpretările mecanicii cuantice pot fi corecte. Natura se comportă într-un anumit fel, și ar trebui să încercăm să înțelegem ce se întâmplă. De pildă, universul fie se scindează în multe cópii ale lui, fie nu se scindează. Ghinionul nostru că nu știm dacă se scindează

sau nu, dar ar trebui să încercăm să aflăm. Poate că nu vom descoperi niciodată ce se întâmplă în realitate, dar ceva se întâmplă – iar eu cred că într-o bună zi vom afla.

Pe când îmi începeam munca de cercetare, eroul meu era fizicianul teoretician irlandez John Bell, unul dintre marii specialiști în mecanica cuantică, vocea rațiunii în privința interpretării ei. În anii 1920, cei doi giganți ai fizicii, Bohr și Einstein, au dezbătut îndelung semnificația teoriei recent apărute. Einstein susținea că mecanica cuantică nu poate fi ultimul cuvânt, că ceva lipsește, în vreme ce Bohr credea că mecanica cuantică ne spune tot ce am putea afla vreodată despre natură. Bohr era convins că teoriile din fizică nu descriu realitatea direct, ci doar ce putem *ști* despre realitate. Versiunea mecanicii cuantice creată de el s-a numit perspectiva Copenhaga, fiindcă la Copenhaga se afla institutul lui. Pe de altă parte, Einstein credea că o teorie bună trebuie să fie ontologică, adică să descrie cum e cu adevărat realitatea, iar așa trebuia să fie și mecanica cuantică. Este general acceptat faptul că Bohr a câștigat disputa, iar de atunci generații de fizicieni au îmbrățișat perspectiva Copenhaga.

Am vizitat de multe ori Institutul Niels Bohr din Copenhaga, unde munca de cercetare continuă și azi. Privit din afară, pare un ansamblu vetust de clădiri mici dominate de marele spital din apropiere. În interior însă te

poți pierde în mulțimea de tuneluri și pasaje care leagă subteran clădirile. Impresia cea mai puternică mi-a făcut-o însă plimbarea prin parcul din spatele institutului, unde Bohr și alți giganți ai fizicii de la începutul secolului XX petreceau mult timp încercând să înțeleagă consecințele stranii ale noii mecanici cuantice.

John Bell făcea parte dintr-o generație ulterioară. L-am auzit de câteva ori ținând prelegeri, iar de fiecare dată a spus că adepții perspectivei Copenhaga sunt precum struții care își bagă capul în nisip, neîndrăznind să pună în discuție semnificația mai profundă a mecanicii cuantice, dar mulțumiți să urmeze orbește regulile ei care funcționează atât de bine. Asta îl tulbura pe Bell, fiindcă credea că fizicienii ar trebui să încerce să înțeleagă semnificația mai profundă a ceea ce se întâmplă în natură.

Bell însă nu era în nici un caz un marginal. La începutul anilor 1960 fusese una dintre cele mai respectate figuri din lumea fizicii și făcuse descoperiri importante. Ultima dată l-am întâlnit la o întrunire a Societății Americane de Fizică, la Baltimore, în 1989, cu un an înainte să moară. Am participat la o conferință pe tema fundamentelor mecanicii cuantice, la care vorbitorul a propus o interpretare nouă, cam dubioasă. Am observat că John Bell se afla în public. Mai târziu, m-am aflat singur cu Bell în liftul care ne ducea la restaurantul de la ultimul etaj al centrului de conferințe. Ca să intru în

vorbă cu el, l-am întrebat ce părere avea despre ultima prelegere. „Oh, tipul se înșală, fără discuție“, a spus el zâmbind. „Evident, nu-și dă seama de problema heliului.“ „Evident, nu“, am râs eu, întrebându-mă care naiba putea fi problema heliului, însă dornic să-l asigur că sunt perfect de acord cu el.

Țin minte că i-am pus lui Bell o întrebare după ce a ținut o conferință la Colegiul Queen Mary din Londra. Tocmai spusese că îi plăcea interpretarea mecanicii cuantice a lui David Bohm, conform căreia întregul univers e interconectat la nivel cuantic, așa încât ce i se întâmplă unui atom aici, pe Pământ, influențează instantaneu un alt atom dintr-o galaxie îndepărtată. Acest gen de conexiune între toate particulele din univers reprezintă ceea ce se numește caracter nelocal sau acțiune la distanță, iar dacă ești convins de realitatea obiectivă a lumii, ar trebui să existe un fel de semnal care se propagă mai repede decât lumina. Dar asta intră în contradicție cu teoria relativității speciale, i-am spus lui Bell. Mi-a răspuns că ar renunța mai curând la relativitatea specială decât la realitatea însăși, care e efectiv prețul de plătit dacă crezi în perspectiva Copenhaga. Conform lui Bohr, nici un lucru nu există în lumea cuantică până nu l-am măsurat și nu l-am observat. Bell susținea că, din moment ce totul e în ultimă instanță alcătuit din obiecte cuantice, nimic (nici măcar pagina

următoare a acestei cărți) nu există până nu ne uităm la el. Iar atunci unde trasăm linia despărțitoare între lumea microscopică supusă regulilor cuantice și lumea macroscopică a vieții de zi cu zi?

CE NE-AR PUTEA SPUNE NOI EXPERIMENTE?

Aproape toată lumea a auzit de Marele Accelerator de Hadroni (Large Hadron Collider – LHC), cel mai mare accelerator de particule, de la laboratorul CERN din Geneva. Dimensiunea lui e impresionantă: 27 km de tunel circular subteran, unde fascicule de particule călătorind cu o viteză apropiată de cea a luminii produc un miliard de ciocniri pe secundă la o energie nemaiîntâlnită de la big bang. Dar la ce slujește? Răspunsul standard este că, după eforturile de ani de zile a mii de oameni de știință din treizeci și cinci de țări și costuri care se ridică la aproape zece miliarde de dolari SUA, suntem în sfârșit pe cale de a afla dacă există sau nu o nouă particulă elementară, bosonul Higgs.

Modelul standard din fizica particulelor este apogeul încercărilor de a înțelege constituenții ultimi ai materiei. El descrie nu doar comportamentul atomilor, ci ajunge în profunzime până la cele mai mici structuri, particulele elementare alcătuind tot ce ne

înconjoară, între care electronul și cuarcii (care compun nucleele atomilor), împreună cu rudele lor mai masive, care există doar pentru fracțiuni de secundă, precum și fotonul (particula de lumină). Modelul standard arată cum descriu regulile cuantice proprietățile a douăsprezece particule de materie și a douăsprezece particule purtătoare de forță, ca să nu mai vorbesc de antiparticulele asociate lor (gemenele lor reflectate în oglindă, care nu supraviețuiesc mult). Unui neinițiat, modelul standard ar putea să i se pară cam dezordonat, dar succesul lui e remarcabil, și este cel mai bun lucru pe care-l avem deocamdată.

Problema modelului standard este că e incomplet. Nu ne spune de ce unele particule sunt ușoare, iar altele grele, de ce vedem mici diferențe între proprietățile materiei și proprietățile antimateriei, ca să nu mai vorbim de faptul că nu ne spune cum să unificăm interacțiile subatomice într-o singură teorie. Modelul standard ar trebui de asemenea să dea răspuns la unele întrebări pe care ni le punem atunci când privim cerul. De pildă, întreaga materie cunoscută alcătuiește doar o mică parte din materia care știm că trebuie să existe în spațiu, dar nu știm din ce e compusă întreaga materie invizibilă (întunecată) – știm doar că ea se află acolo pentru a menține stelele în interiorul galaxiilor.

La unele dintre aceste întrebări vom afla răspunsul dacă detectorii de la LHC (e vorba de mii de tone de magneți și de dispozitive electronice sofisticate) vor găsi o particulă a cărei existență a fost propusă în anii 1960 de Peter Higgs. Bosonul Higgs este ingredientul care lipsește din modelul standard, și ar confirma că acesta e o descriere corectă a lumii subatomice.[54]

Dar dacă bosonul Higgs nu va fi găsit? S-ar putea să fie o veste bună, fiindcă există o mulțime de scenarii alternative. Numeroși fizicieni teoreticieni propun deja idei noi care ar putea fi testate dacă bosonul Higgs nu va apărea la LHC. Datele provenind de la CERN vor fi examinate în următorii ani pentru a se căuta dovezi nu doar în favoarea bosonului Higgs, dar și a altor particule mai exotice, care nu sunt incluse în modelul standard.

De pildă, teoria corzilor ar primi un sprijin dacă ar fi confirmată ideea de supersimetrie, aflată la baza ei. Într-un univers supersimetric, particule cum sunt electronii și cuarcii, care alcătuiesc materia obișnuită, ar fi legate de particule diferite, purtătoarele forțelor dintre ele. Se postulează existența unor particule noi, care așteaptă să fie descoperite; pentru fiecare particulă cunoscută ar exista un partener „supersimetric“ mai greu. Astrofizicienii s-ar

bucura dacă supersimetria ar fi confirmată, căci cele mai ușoare dintre aceste noi particule ar putea alcătui materia întunecată galactică.[55]

Teoria corzilor ar putea fi testată și indirect, căutând dovezi privind dimensiunile ascunse. Inițial s-a crezut că aceste dimensiuni suplimentare sunt mult prea mici pentru a fi observate, dar recent a fost lansată ipoteza că ele ar putea fi suficient de mari pentru ca efecte ale lor să fie detectate la LHC.

De exemplu, unele versiuni ale teoriei corzilor spun că aceste dimensiuni suplimentare ar avea efecte gravitaționale suficient de puternice pentru a influența spațiul-timp la scară microscopică și ar putea chiar produce găuri negre minuscule. Iată ce s-ar întâmpla: dacă dimensiunile suplimentare sunt reale, atunci gravitația s-ar „infiltra“ și în ele, ceea ce ar explica de ce gravitația e mult mai slabă decât celelalte forțe în spațiul nostru 3-D. Dar la o scară suficient de mică am putea-o „capta“ înainte de a fi diluată de celelalte dimensiuni. Asta ar însemna că scara sondată la LHC ar putea fi suficient de mică pentru a dezvălui o forță gravitațională mult mai puternică, îndeajuns de puternică pentru a crea minuscule găuri negre. Dimensiunile suplimentare ar veni de asemenea în sprijinul ideii că universul nostru e o bulă într-un multivers cu mai multe dimensiuni.

Nu intrați însă în panică, aceste găuri negre n-ar supraviețui mult timp, ele s-ar evapora imediat prin radiație Hawking. Detectarea acestei radiații ar fi o descoperire extraordinară și ar oferi un indiciu privind felul în care gravitația e legată de celelalte trei forțe.

Indiferent ce va fi găsit la LHC, va revoluționa fără îndoială fizica particulelor. Dacă va fi bosonul Higgs, atunci modelul standard va fi confirmat, iar o nouă piesă de puzzle va fi plasată la locul ei. Dar dacă bosonul Higgs nu va fi găsit, tot vom afla ceva. În următorii ani vom vedea dacă există într-adevăr zecile de particule supersimetrice sau dimensiunile suplimentare. Mi se pare fascinant faptul că teoreticienii fac eforturi disperate pentru a se asigura că n-au trecut cu vederea vreun scenariu ciudat și improbabil. Dacă nu se găsesc dovezi în favoarea unei idei trăsnite, atunci pesemne că nimeni nu-și va aminti de ea; dar dacă e confirmată, cei care n-au avut curajul s-o propună vor regreta.

ASTRONOMIE ȘI ASTROLOGIE

Împărțirea actuală în tabere a fizicienilor și filozofilor când e vorba de semnificația mecanicii cuantice seamănă oarecum cu separarea pe temeiul credinței religioase. Unii își apără cu patimă vederile și susțin că cine adoptă altă perspectivă se înșală prostește. Alții

sunt agnostici: nu se pot hotărî în care versiune „să creadă“. Cum o anumită interpretare nu poate fi nici confirmată, nici infirmată, fixarea asupra unei interpretări devine o chestiune de credință. Nu așa ar trebui să funcționeze știința, și în general nici nu funcționează așa. Următorul citat este din cartea *Hyperspace* a fizicianului Michio Kaku:

> Unii i-au acuzat pe oamenii de știință că au creat o nouă teologie bazată pe matematică; adică am respins mitologia religiei doar pentru a îmbrățișa o religie și mai bizară, întemeiată pe spațiul-timp curb, simetriile particulelor și expansiunea cosmică. Dacă preoții recită incantații în latină pe care puțini le pricep, fizicienii recită ecuații misterioase pe care le pricep încă și mai puțini. „Credința“ într-un Dumnezeu atotputernic e înlocuită de „credința“ în mecanica cuantică și relativitatea generală.

Așadar, cum poate avea încredere un nespecialist în ce-i spun oamenii de știință?

Să nu vă închipuiți că fizica e o chestiune de gust personal: azi e joi, deci cred în universurile paralele, mâine am să-mi pun ciorapii albaștri care-mi aduc noroc și voi susține ferm existența corzilor cosmice, și așa mai departe. Știința înseamnă găsirea regulilor cărora li se supune natura, descoperirea unei teorii, iar apoi testarea ei repetată pentru a vedea dacă e o descriere

corectă a realității. Dacă eșuează, e eliminată. Mulți nespecialiști cred adesea despre noi că suntem încuiați la minte și intoleranţi față de noile idei și posibilități, mai ales când e vorba de lucruri precum fenomenele paranormale. Când i se spune însă că un anumit cristal are puteri vindecătoare magice sau că poate reacționa la un soi de energie parapsihică, un om de știință va vrea să știe despre ce formă de energie e vorba și dacă puterea pe care se presupune că o are e explicabilă prin legile cunoscute ale naturii. Efectul poate fi reprodus? Poate fi măsurat? Dacă e o nouă energie sau o nouă forță, pot fi înțelese proprietățile ei? Fapt este că deocamdată – și, vă rog să mă credeți, mulți au căutat vreme de peste o sută de ani – nu s-a găsit nici o dovadă științifică în favoarea vreunui fenomen paranormal. Iar asta nu pentru că oamenii de știință nu s-ar fi străduit sau n-ar fi destul de deschiși la minte, ci fiindcă toate afirmațiile privind paranormalul s-au dizolvat rapid în fața cerințelor riguroase ale cercetării științifice.

Dacă oamenii de știință ar fi spirite mărginite, n-ar descoperi niciodată ceva nou, dar ei trebuie să se convingă temeinic atunci când se confruntă cu un fenomen nou sau neexplicat. Un prieten fizician mi-a citat odată acest dicton:

> Rămâi cu mintea deschisă, dar nu într-atât încât să-ți cadă creierul afară.

E un sfat înțelept. Am străbătut un drum lung din epoca superstițiilor și magiei. Cu sute de ani în urmă astrologia avea o putere mare asupra oamenilor. Astăzi, cei mai mulți știu că e absurd să crezi că o stea îndepărtată, a cărei lumină a călătorit pesemne mii de ani ca să ajungă la noi, poate avea o influență reală asupra felului în care se desfășoară viețile noastre de zi cu zi. Dar în secolul XVII până și astronomii credeau în astrologie. Alt exemplu este originea cuvântului englezesc *flu* [gripă], care e o formă prescurtată a cuvântului italienesc *influenza*, însemnând aici „influența“ planetelor, pentru că se credea că ele ne afectează sănătatea. Mai credeți asta acum, sau acceptați că există un virus al gripei?

Știința avansează continuu către adevăr și cunoaștere. Drumul nu-i întotdeauna drept, uneori intrăm în fundături, dar una peste alta am făcut progrese incredibile. Iar universul ne rezervă încă, fără îndoială, multe surprize.

FASCINAȚIA ȘTIINȚEI

Pentru a înțelege entuziasmul pe care îl poate stârni fizica secolului XXI nu-i nevoie să abordăm probleme atât de profunde cum sunt cele legate de nașterea universului: *cum* și *de ce* a apărut? E de-ajuns să privim în jur pentru a vedea că lumea e uimitoare. Iar, la urma urmei, oamenii de știință rămân copilăroși în dorința

lor neostoită de a vrea să afle „de ce“. Mi se pare extraordinar că atomii care alcătuiesc trupul meu au fost creați în interiorul unei stele îndepărtate, cu miliarde de ani în urmă, o stea care a explodat ca o supernovă, împrăștiind în cosmos cenușa ei. O parte din această cenușă s-a condensat apoi treptat, s-a încălzit iarăși pentru a forma o nouă stea, Soarele nostru, și planetele lui. Dacă nu ești, la rândul tău, impresionat de asta, înseamnă că suntem foarte diferiți. Dar nu putem fi cu toții pasionați de știință; sunt atâtea lucruri interesante pe lume, iar viața e scurtă.

Bănuiesc că întrebările privind semnificația timpului – dacă se scurge, dacă trecutul și viitorul coexistă cu prezentul și dacă într-o bună zi vom putea vizita trecutul – depășesc curiozitatea științifică. Într-un fel, asta m-a ajutat să scriu cartea de față: n-a trebuit să depun prea mult efort pentru a vă convinge că subiectul ei e pasionant.

Cartea mea sper că v-a trezit interesul și a fost instructivă. Nu mi-am propus să scriu un curs introductiv în teoria relativității, ci am vrut să vă ofer o privire asupra fizicii moderne și prilejul de a împărtăși cu mine emoția de a cugeta la unele dintre cele mai profunde probleme ale existenței. Călătoria în trecut s-ar putea așadar să fie interzisă de legile fizicii, găurile de vierme s-ar putea să nu existe în universul nostru, și s-ar putea să nu existe nimic

„de cealaltă parte“ a unei găuri negre. Dar am vrut să prezint nespecialiștilor idei fundamentale legate de spațiu și timp, iar dacă ele devin mai atrăgătoare și mai interesante lansând speculații privind posibilitatea construirii unei mașini a timpului, de ce n-aș face-o? Chiar dacă se dovedește că e imposibil.

---

52. Pentru detalii despre teoria corzilor, vezi Brian Greene, *Universul elegant* (Editura Humanitas, București, 2016). (*N. t.*)

53. Una dintre dificultățile cu care se confruntă în prezent teoria corzilor este numărul enorm de soluții (de universuri) pe care le permite, 10^{500}. O posibilă ieșire din impas a fost propusă de Leonard Susskind, care crede că toate aceste universuri există, alcătuind ceea ce el numește „peisajul cosmic“, iar universul nostru se întâmplă să aibă caracteristicile unuia dintre aceste universuri nu doar posibile, dar și reale – vezi Leonard Susskind, *Peisajul cosmic*, Editura Humanitas, București, 2016. În afară de teoria corzilor, mai există un candidat plauzibil pentru unificarea gravitației cu mecanica cuantică: gravitația cuantică cu bucle. Vezi, de pildă, cărțile lui Carlo Rovelli apărute la Editura Humanitas: *Ordinea timpului* și *Realitatea nu e ceea ce pare*. (*N. t.*)

54. Dovezi convingătoare ale existenței bosonului Higgs au fost într-adevăr găsite la LHC în 2012. Vezi Jim Baggott, *Higgs. Inventarea și descoperirea „Particulei lui Dumnezeu“* (Editura Humanitas, București, 2016). (*N. t.*)

55. Deocamdată (începutul anului 2021) nu a fost găsit nici un superpartener al unei particule cunoscute, deși energia la LHC a fost crescută între timp, ceea ce înseamnă că masele presupușilor superparteneri trebuie să fie mai mari decât au estimat variante succesive ale teoriilor supersimetrice. Nu au apărut nici dovezi privind dimensiunile ascunse (înfășurate) din teoria corzilor, despre care Al-Khalili vorbește în paragrafele următoare. În prezent, entuziasmul pentru supercorzi a mai scăzut. Pentru o analiză critică a teoriei corzilor și a noțiunii de supersimetrie, vezi Sabine Hossenfelder, *Rătăciți printre formule. Cum îi derutează frumusețea pe fizicieni* (Editura Humanitas, București, 2020). (*N. t.)*